



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

"Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre"

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**DIAGNÓSTICO MINERAL DE GANADO BOVINO PARA CARNE EN
AGOSTADEROS EN INDÉ, DURANGO**

TESIS

Que como requisito parcial

para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

Javier Rubio Rubio

Bajo la supervisión de: Maximino Huerta Bravo Ph. D.



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
CICLO DE EXAMENES PROFESIONALES

Abril del 2017

Chapingo, México.

**DIAGNÓSTICO MINERAL DE GANADO BOVINO PARA CARNE EN
AGOSTADEROS EN INDÉ, DURANGO**

Tesis realizada por **JAVIER RUBIO RUBIO**, 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:



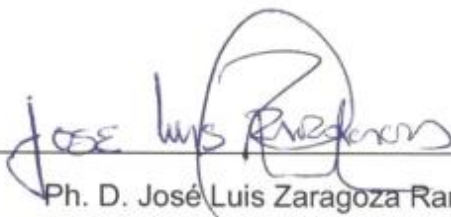
Ph. D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:



Ph. D. Agustín Ruiz Flores

ASESOR:



Ph. D. José Luis Zaragoza Ramírez

ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
DEDICATORIAS	VIII
AGRADECIMIENTOS	IX
DATOS BIOGRÁFICOS	X
1.1 Introducción general.....	11
1.2 Capítulos de tesis.....	12
2 EFECTOS DE ZINC Y SELENIO QUELATADOS CONTRA FUENTES INORGÁNICAS: REVISIÓN	13
2.1 Resumen.....	13
2.2 Abstract.....	14
2.3 Introducción.....	15
2.4 Materiales y métodos	16
2.5 Resultados y discusión.....	16
2.5.1 Efectos de las fuentes de selenio en vacas lecheras	16
2.5.2 Efectos de las fuentes de selenio en bovinos productores de carne .	22
2.5.4 Efectos de las fuentes de selenio en ovinos.....	27
2.5.5 Efectos de las fuentes de zinc en vacas lecheras	31
2.5.6 Efectos de las fuentes de zinc en bovinos productores de carne	37
2.5.7 Efectos de las fuentes de zinc en ovinos.....	43
2.5.8 En General	46
2.6 Conclusiones.....	49

2.7	Literatura citada	50
3	DIAGNÓSTICO MINERAL DE GANADO BOVINO PARA CARNE EN AGOSTADEROS EN INDÉ, DURANGO	57
3.1	Resumen.....	57
3.2	Abstract.....	59
3.4	Introducción.....	60
3.5	Materiales y métodos	60
3.5.1	Colecta y procesamiento de muestras.....	61
3.5.2	Suelo	62
3.5.3	Agua	62
3.5.4	Forraje	62
3.5.5	Suero sanguíneo	63
3.5.6	Técnicas de determinación de minerales en laboratorio.....	63
3.5.7	Modelo estadístico.....	63
3.6	Resultados y discusión.....	64
3.6.1	Concentración mineral en suelo	64
3.6.2	Concentración mineral en forraje.....	68
3.6.3	Concentración mineral en agua de bebida	74
3.6.4	Concentración mineral en suero sanguíneo	77
3.7	Conclusiones.....	82
3.9	Literatura citada	83

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Comparación de principales resultados determinados en estudios de vacas lecheras con fuentes inorgánicas contra quelatos de selenio.	19
Cuadro 2. Comparación de resultados determinados en estudios de bovinos productores de carne con fuentes inorgánicas contra quelatos de selenio.	23
Cuadro 3. Comparación de principales resultados determinados en estudios de ovinos con fuentes inorgánicas contra quelatos de selenio.	28
Cuadro 4. Comparación de principales resultados en estudios de fuentes orgánicas contra inorgánicas de zinc en vacas lecheras.	32
Cuadro 5. Comparación de principales resultados en estudios de fuentes orgánicas contra inorgánicas de zinc combinado con otros minerales en vacas lecheras.....	33
Cuadro 6. Comparación de principales resultados en estudios de fuentes orgánicas contra inorgánicas de zinc en bovinos productores de carne.	38
Cuadro 7. Comparación de resultados en estudios de fuentes orgánicas contra inorgánicas de zinc combinado con otros minerales en bovinos productores de carne.	39
Cuadro 8. Comparación de principales resultados en estudios de fuentes orgánicas contra inorgánicas de zinc en ovinos.	44
Cuadro 9. Comparación de resultados en estudios con fuentes de selenio quelatado e inorgánico.	47
Cuadro 10. Comparación de resultados en estudios con fuentes de zinc quelatado e inorgánico.....	48
Cuadro 11. Niveles de significancia de época, rancho y sus interacciones para las concentraciones de minerales en suelo de Indé, Durango.....	65
Cuadro 12. Concentración mineral en suelos de cinco ranchos ganaderos en diferentes épocas del año en Indé, Durango.....	66

Cuadro 13. Niveles de significancia de época, rancho y su interacción para las concentraciones de minerales en forraje de Indé, Durango.	69
Cuadro 14. Concentración mineral en el forraje de cinco ranchos ganaderos en diferentes épocas del año en Indé, Durango.	70
Cuadro 15. Niveles de significancia de época, rancho y sus interacciones para las concentraciones de minerales en agua de Indé, Durango.	74
Cuadro 16. Concentración mineral del agua de bebida para ganado de cinco ranchos en diferentes épocas del año en Indé, Durango.	75
Cuadro 17. Niveles de significancia de época, rancho, tipo de animal y sus interacciones dobles y triples para las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de bovinos Indé, Durango.	77
Cuadro 18. Concentración mineral en suero sanguíneo de bovinos en agostadero en diferentes épocas del año en Indé, Durango.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de los ranchos muestreados.....	61
Figura 2. Interacción de rancho por edad en la concentración en suero sanguíneo de zinc.....	80
Figura 3. Interacción de rancho por edad en la concentración en suero sanguíneo de potasio.....	81

DEDICATORIAS

A todos los que confían en mí, a mi familia por su apoyo incondicional, por siempre confiar en mis decisiones. A mis amigos que me acompañaron e hicieron una aventura en esta etapa de mi vida y especialmente a mí porque caí cuenta que con dedicación y constancia todo puede ser posible.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) porque a través de la asignación de recursos fue posible concluir la presente investigación.

Al Ph. D. Maximino Huerta Bravo por compartir sus conocimientos, por su dedicación, paciencia y confianza. Ya que sin su ayuda no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

Al Ph. D. Agustín Ruiz Flores por su disposición, apoyo y sugerencias para la mejora de este trabajo. Porque su amistad y carácter, motivan a ser mejor día a día.

Al Ph. D. José Luis Zaragoza Ramírez por sus atinados consejos y apoyo, sin los cuales no hubiera sido lo mismo este trabajo de investigación.

A Pedro Meda, Citlalli González, Miguel Martínez, Gabriela Hernández, Santiago Velázquez, Fernanda Ramírez, María de Jesús, Carlos Jiménez, Ricardo Rubio, Raymundo Rubio, Omar Cobos y Carlos Lucero, por su apoyo en el desarrollo de este trabajo.

A Elizabeth Rodríguez por su apoyo por estar incondicionalmente en esta etapa de mi vida.

A los productores Raymundo Rubio, José Lucero, Iban Lucero, Antonio Hernández, Carmelo Rubio, Hilario Rubio y Jorge Rubio por las facilidades brindadas, por permitir su ganado y ranchos para que este trabajo fuera posible.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Javier Rubio Rubio

Fecha de nacimiento: 10 de septiembre de 1991

Lugar de nacimiento: Indé, Durango.

CURP: RURJ910910HDGBBV00

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia

Cédula profesional: 9621134

E-mail: Javie-rubio@hotmail.com;
javierrubiorubio@gmail.com



Desarrollo académico

Preparatoria: EMSaD 03, Indé, Durango.

Licenciatura: Departamento de Zootecnia (2010-2014)
Universidad Autónoma Chapingo

Maestría: Posgrado en Producción Animal (2015-2016)
Universidad Autónoma Chapingo

1.1 INTRODUCCIÓN GENERAL

El inventario bovino en México es de 32, 307,071 bovinos, de los cuales cerca de 30 millones son productores de carne (SIAP-SAGARPA, 2011). En la zona semiárida y árida que comprende los estados del norte y noroeste del país, desde la Península de Baja California hasta los estados de Tamaulipas, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas. El sistema común es vaca-becerro, con la venta de crías al destete, con fines de exportación, al momento del destete. Estas zonas aportan el 33.9% de la producción nacional (SAGARPA, 2006).

La ganadería depende principalmente de la utilización de forrajes para obtener nutrientes requeridos para mantenimiento, producción y reproducción. La productividad del sistema depende del potencial de los forrajes para cubrir las necesidades de los animales en calidad y cantidad (Huerta, 2010). Específicamente, el nivel de fertilidad del suelo, pastizales y la escasa planificación de la complementación mineral en muchas explotaciones ganaderas pueden originar deficiencias de minerales en los bovinos y consecuentemente enfermedades, pobre índices productivos y reproductivos (Botacio & Garmendia, 1997).

Los microminerales comprenden menos del 0.01% de la masa corporal pero son esenciales para diversas funciones como; estructura hormonal, síntesis de la sangre, reproducción, síntesis de vitaminas, formación de enzimas y sistema inmune (NRC, 2001).

En algunos casos podría desconocerse los requerimientos para complementación de minerales, en esta situación se puede proveer una mezcla mineral básica y completa, con lo cual se tiene una alta probabilidad de incrementar la producción del ganado. Sin embargo, lo ideal es hacer un diagnóstico mineral del sistema de producción de ganado y así tener conocimiento de cuáles minerales son deficientes en el sistema de producción y proponer alternativas para la corrección de deficiencias (McDowell & Arthington, 2005).

La complementación de microminerales se puede realizar con distintas fuentes, las cuales tienen diferentes biodisponibilidades, de 1990 a la fecha algunas empresas

comerciales han fomentado la venta de complejos de microminerales, equivocadamente llamados “orgánicos”, existen varias presentaciones de minerales traza quelatados con relación al tipo de ligando utilizado para formar el complejo-metal o quelado. Comercialmente los minerales son clasificados como complejos, quelatados o proteínas. La *Association of American Feed Control Officials* (AAFCO) definió los complejos metal aminoácido como: “el producto resultante de la formación de un complejo, entre una sal mineral soluble y un aminoácido” (Spears, 1996). Rabiee, Lean, Stevenson, y Socha (2010) reportaron diferencias entre los grupos de animales complementados con fuentes de minerales inorgánicos, minerales quelatados o con el grupo control, en salud y desempeño productivo. El costo de los complejos minerales es elevado y en muchos casos los resultados de los estudios no responden a las expectativas del productor, acrecentando la desconfianza del uso. Debido a esto, es necesario exponer de manera clara y resumida los principales beneficios de los minerales en forma de quelato contra inorgánico enfatizando en el selenio y el zinc.

1.2 CAPÍTULOS DE TESIS

Capítulo 2: EFECTOS DE ZINC Y SELENIO QUELATADOS CONTRA FUENTES INORGÁNICAS: REVISIÓN

Presenta una revisión de literatura en la cual se discuten los principales efectos de la complementación de zinc y selenio quelatados contra fuentes inorgánicas en bovinos lecheros, bovinos productores de carne y ovinos.

Capítulo 3: DIAGNÓSTICO MINERAL DE GANADO BOVINO PARA CARNE EN AGOSTADEROS EN INDÉ, DURANGO

Se analizan los resultados del diagnóstico mineral en bovinos para carne, en dos épocas del año en cinco ranchos ubicados en el municipio de Indé, Durango. de agua, suelo, forraje y suero sanguíneo realizado en

2 EFECTOS DE ZINC Y SELENIO QUELATADOS CONTRA FUENTES INORGÁNICAS: REVISIÓN

EFFECTS OF CHELATED ZINC AND SELENIUM VERSUS INORGANIC SOURCES: REVIEW

2.1 RESUMEN

El objetivo de este capítulo fue hacer un análisis crítico de los efectos de la complementación con quelatos de selenio y zinc contra fuentes inorgánicas; y la respuesta en la concentración del mineral en sangre o plasma sanguíneo y en músculo, mejoras en ganancia de peso, la actividad de glutatión peroxidasa (GPX), mejoras en becerros y beneficios reproductivos en vacas, de algunas especies de interés zootécnico complementados con dichos minerales, publicado en artículos científicos. Existe mucha variación en los resultados publicados. Los minerales inorgánicos y quelatados cumplen su función, la acumulación del mineral en productos para consumo humano es mayor al complementar con minerales quelatados, respecto a la complementación con minerales inorgánicos. En los casos donde se presentan algún antagonismo mineral, los minerales quelatados al tener formas diferentes de absorción presentan mejores efectos que los minerales inorgánicos.

Palabras claves: selenio, zinc, minerales quelatados, minerales inorgánicos.

2.2 ABSTRACT

The aim was to analyze effects supplementation with selenium and zinc chelates instead of inorganic sources, and the response in the concentration of minerals in blood or blood plasma, and muscle, improvements in weight gain, the activity of glutathione peroxidase (GPX), and improvements in reproductive activity of some domestic species published in scientific papers. A large variation in published results for animal performance was found. The inorganic minerals fulfill their function. On the other hand, the accumulations of mineral in the final product for human consumption with chelated minerals were better than with inorganic minerals. In cases where we have some mineral antagonism, the best option is the chelated mineral because they have different mechanisms of absorption and for this reason they yield better results than with inorganic minerals.

Key words: selenium, zinc, chelated minerals, inorganic minerals.

2.3 INTRODUCCIÓN

Los minerales traza son complementados comúnmente en las dietas de los animales como sales inorgánicas. En años recientes algunas empresas de minerales han promovido el uso de minerales, equivocadamente llamados “orgánicos”. En estos productos, los minerales inorgánicos traza se ofrecen como compuestos orgánicos, al ser ligados a una matriz orgánica formando un complejo-metal o quelatado. El uso de minerales quelatados ha sido estimulado por reportes que bajo ciertas condiciones los animales responden con crecimiento compensatorio, aumento en la producción de leche, reproducción y respuesta inmune a ciertos minerales quelatados (Spears, 1996).

Actualmente, las formas predominantes disponibles de minerales traza para la complementación típica, tomando como primera referencia su estructura química, se categorizan en: orgánicos e inorgánicos (Overton & Yasui, 2014). Las fuentes de minerales inorgánicas comunes son metales con enlaces iónicos y alimentados en forma de óxidos y sulfatos. Las formas orgánicas de minerales traza unidas por enlaces covalentes a una matriz orgánica se han incluido algunos complementos para rumiantes. Diversas formas de los minerales traza orgánicos están disponibles en metales quelados, complejos y unidos de forma covalente con un aminoácido, análogos de aminoácido, proteína y otros componentes orgánicos (Spears, Schlegel, Seal, y Lloyd 2004). La unión con dichos compuestos puede ser natural o artificial, y una de sus funciones es mejorar la absorción del mineral en el tracto gastrointestinal (Kincaid & Socha, 2004).

Los efectos de los minerales quelatados documentados en literatura han sido variables. En algunos estudios no se han

reportado diferencias entre grupos de bovinos control o complementados con inorgánicos y grupo de bovinos complementados con minerales quelatados, para una o más variables de respuesta (Rabiee *et al.*, 2010). El costo de estos productos generalmente es elevado y en muchos casos los resultados de los estudios no responden a las expectativas de los ganaderos haciendo poco confiable el beneficio de su uso. Al haber pocos estudios que recopilen información, esta revisión tiene como objetivo presentar de una manera clara y resumida los principales beneficios de los complejos minerales, con especial énfasis en selenio y zinc, haciendo un análisis de su función, acción, acumulación.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

La información analizada proviene de 76 artículos publicados en diversas revistas científicas, disponibles en internet y accesibles mediante los buscadores Google Scholar y PubMed. Algunos estudios comparan los efectos de la complementación de un solo mineral quelatado contra un mineral en forma inorgánica. Otros estudios complementan una base de minerales inorgánicos y comparan los efectos de la complementación con los mismos minerales en forma de quelato. Los parámetros escogidos para esta revisión fueron los que por lo menos dos autores diferentes midieron. Las diferencias estadísticas para cada parámetro del comportamiento animal, en dado caso de que en algún estudio no se determinaba alguno de los parámetros se registró no determinado (ND) para que no influyera en los resultados finales.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Efectos de las fuentes de selenio en vacas lecheras

Desde 1957 se descubrió que el selenio es esencial para los mamíferos (Schwarz & Folz, 1957). Las fuentes usadas comúnmente son selenito o selenato de sodio; sin embargo, en años recientes se ha venido comercializando fuentes de selenio unidas a moléculas orgánicas que prometen mayor biodisponibilidad, mayores efectos cuando hay antagonistas, mayor actividad de glutatión peroxidasa (GPX), mejoras en la salud para algunas enfermedades y mayor concentración de selenio en productos de consumo humano, entre otros efectos. Las fuentes de selenio que fueron utilizadas en los experimentos usados en esta revisión fueron diversas, desde selenio-levadura hasta tejidos vegetales enriquecidos con selenio. Considerando que el selenio entra en la cadena alimentaria a través de las plantas, que absorben sales de selenio inorgánicos del suelo y lo convierten complejos del elemento en el tejido vegetal, por ejemplo selenio-metionina (Calamari, Petrera, y Bertin, 2010). Patton (1997) excluyó de su revisión de literatura al selenio debido a que por su química de electrones no se puede formar un complejo de selenio verdadero. Sin embargo, es necesario analizar los resultados de ensayos que usan estas fuentes de mineral.

La fuente del complejo de selenio son principalmente levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) cultivadas en la fermentación de melaza de caña y sales de selenio, las cuales incorporan el selenio inorgánico en su materia orgánica. El selenio inorgánico residual no debe superar 2% del contenido de selenio total en el producto final levadura de selenio. Durante la fermentación de la levadura el selenio es consumido e incorporado en diversos compuestos orgánicos, siendo abundante Se-Metionina, y en una minoría otros complejos. Estos complejos de aminoácidos son

muy parecidos en estructura a los aminoácidos, solo el átomo de azufre es reemplazado por el de selenio (Weiss, 2005).

Los principales efectos del selenio inorgánico comparados con los efectos de selenio orgánico en bovinos lecheros. Se midió la concentración de selenio en sangre o plasma sanguíneo y en músculo, mejoras en ganancia de peso, así como la actividad de glutatión peroxidasa (GPX), mejoras en becerros y beneficios en variables reproductivas en vacas lecheras se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Comparación de principales resultados determinados en estudios de vacas lecheras con fuentes inorgánicas contra quelatos de selenio.

Estudio	Forma	Fuente	Concentración de Se en leche	Concentración de Se en sangre o plasma	Conteo de células somáticas	Actividad de GPX	Producción de leche	Enfermedades	Variables Reproductivas
Ortman y Pehrson, (1997).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃			ND	=	ND	ND	ND
	Quelato	Se-lev	>	>	ND	=	ND	ND	ND
Ortman y Pehrson, (1999).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃ y Na ₂ SeO ₄			ND	=	ND	ND	ND
	Quelato	Se-lev	>	>	ND	=	ND	ND	ND
Ortman et al, (1999).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃ y Na ₂ SeO ₄	ND		ND	=	ND	ND	ND
	Quelato	Se-lev	ND	>	ND	=	ND	ND	ND
Cerri et al. (2009).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃	ND	=	ND	=	ND	=	=
	Quelato	Se-lev	ND	=	ND	=	ND	=	=
Wang et al. (2009).	inorgánico	Sin suple.		ND	ND	ND		ND	ND
	Quelato	Se-lev	>	ND	ND	ND	>	ND	ND
Calamari et al. (2010).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃			=	=	=	ND	ND
	Quelato	Se-lev	>	>	=	=	=	ND	ND
Weiss y Hogan, (2005).	inorgánico	Na ₂ SeO ₄			ND	ND	ND	=	ND
	Quelato	Se-lev	>	>	ND	ND	ND	=	ND
Calamari et al. (2011).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃		>	ND	=	ND		ND
	Quelato	Se-lev	>	>	ND	=	ND	>	ND
Knowles et al. (1999).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃			=	=	=	ND	ND
	quelato	Se-lev	>	>	=	=	=	ND	ND
Malbe et al. (1995).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃	ND		ND	=	ND	=	ND
	quelato	Se-lev	ND	>	ND	=	ND	=	ND

Na₂SeO₃: selenito de sodio. Na₂SeO₄: selenato de sodio, Se-lev: selenio unido a levadura, sin suple: sin suplemento. GPX: glutatión peroxidasa.

Cuando; > los resultados fueron significativamente mayores, = los tratamientos no tuvieron diferencias significativas, ND no determinado.

Enfermedades; retención de placenta, fiebre, cetosis, la mastitis, metritis puerperal aguda, endometritis clínica y endometritis subclínica, gabarro.

Ortman y Pehrson (1997) reportan que al complementar 3.0 mg de selenio, como selenio-levadura, una dieta con 0.26-0.36 mg kg⁻¹ de selenio; la concentración de comparación con selenito de sodio aumentó en 100% en leche y 40% en sangre. Más tarde reportaron aumentos de 6.4 µg L⁻¹ de selenio en las leche de vacas del grupo testigo, a 31.2 µg L⁻¹ de selenio en la leche de vacas del grupo complementado con selenio. La concentración de selenio en la sangre pasó de 104 µg L⁻¹, en vacas del grupo testigo a 138 µg L⁻¹ en vacas del grupo complementado con selenito y a 165 µg L⁻¹ en el grupo de vacas complementadas con selenio levadura. Finalmente, la concentración de selenio en plasma sanguíneo fue de 80 µg L⁻¹ con selenito y de 90 µg L⁻¹ con selenio levadura (Ortman & Pehrson, 1999, Cuadro 1).

Al complementar vacas lecheras con distintos niveles de selenio-levadura Wang *et al.* (2009) observaron incrementos en la concentración de selenio en leche con el aumento en la concentración de selenio. La concentración de selenio en leche aumento de 7.8 µg L⁻¹ (vacas control con 0.07 mg kg⁻¹ de selenio en la dieta) a 129.26 µg L⁻¹ en vacas complementadas con 0.45 mg kg⁻¹. Calamari *et al.* (2010) compararon la concentración de selenio en sangre de vacas lecheras, consumiendo una dieta base con 0.2 mg kg⁻¹ de selenio, con 0.5 mg kg⁻¹ de selenio-levadura el 16.3% contra vacas lecheras consumiendo la misma dieta base pero complementadas con 0.5 mg kg⁻¹ de selenito de sodio. Las diferencia en la concentración de selenio entra ambos grupos de vacas fue 41.4%, a favor de la adición de selenio-levadura. Al proporcionar selenio-levadura a vacas lecheras Calamari, Petrera, Abeni, y Bertin (2011) detectaron que la concentración de selenio fue 1.9 veces mayor que vacas complementadas con selenato, en calostro y leche.

Por su parte Weiss y Hogan (2005) reportaron concentraciones de 0.087 y 0.151 mg L⁻¹ en calostro al adicionar 0.5 mg kg⁻¹ de selenito y de selenio levadura, respectivamente. La concentración de selenio en suero sanguíneo fue 1.4 veces mayor al adicionar selenio levadura comparado con selenato. Knowles, Grace, Wurms, y Lee (1999) registraron concentraciones de selenio

en leche de 1.5 a 5.5 veces en vacas complementadas con selenio levadura y de 2 a 3 veces más selenio, la sangre de vacas complementadas con selenito de sodio.

La forma orgánica o especie química de selenio en la dieta importa debido a que se ha observado que el selenio inorgánico (selenito) se utiliza casi exclusivamente para producir selenoenzimas y el selenio orgánico (selenio-metionina) para producir selenoenzimas y también da lugar al etiquetado general de las proteínas que contengan metionina. La proteína de la leche es sintetizada constantemente y removida de la vaca dos o tres veces al día, por tanto, la concentración de selenio en leche con selenio metionina es mayor que con selenio inorgánico (Weiss, 2005).

La actividad de glutatión peroxidasa (GPX) aumenta al adicionarla a la dieta con cualquier fuente de selenio. En la mayoría de los estudios se encontró un ligero aumento de actividad de GPX con selenio-levadura, sin diferencias con selenito o selenato de sodio. Knowles *et al.* (1999) no reportaron diferencia en la actividad de GPX en vacas complementadas con selenito y selenio-levadura consumiendo una dieta base con 0.2 ppm de selenio. Pero al comparar selenio-levadura y selenito de sodio a una concentración de 0.1 ppm, la actividad de GPX fue 50% mayor con selenio-levadura. En ambos casos la biodisponibilidad de selenio de selenito y selenato fue similar en rumiantes (Ortman & Pehrson, 1999).

La fuente de selenio en la dieta de vacas lecheras parece no afectar la salud reproductiva o la sobrevivencia de embriones. Sin embargo, algunos estudios reportan reducción en la retención de placenta, fiebre, cetosis, mastitis, metritis puerperal aguda, endometritis clínica y endometritis subclínica al proporcionar en la dieta base selenio quelatado o selenio inorgánico (Calamari *et al.*, 2010; Cerri *et al.*, 2009; Malbe *et al.*, 1995; Weiss y Hogan 2005), sin encontrar diferencias significativas entre fuentes.

Aunque en la mayoría de los artículos científicos no se reporta aumento en la producción de leche con selenio quelatado, Wang *et al.* (2009) reportaron un incremento de 25.44 a 26.47 litros con 300 mg de selenio levadura kg^{-1} de dieta. La cantidad de células somáticas no se afecta con la fuente de selenio (Calamari *et al.*, 2010; Knowles *et al.*, 1999).

En un artículo de revisión, Weiss (2005) concluyó que el selenio-levadura libera mayor cantidad de selenio en sangre (20%) y leche (90%) y aumenta la actividad del glutatión peroxidasa (16%) que con fuentes de selenio inorgánico. Este autor puntualiza que la leche tiene mayor cantidad selenio debido a que la proteína de la leche contiene aproximadamente el doble de metionina que la sangre.

2.5.2 Efectos de las fuentes de selenio en bovinos productores de carne

Los principales efectos de la complementación con selenio inorgánico y con selenio quelatado en bovinos productores de carne medidos en sangre o plasma sanguíneo, ganancia de peso, músculo y actividad de glutatión peroxidasa (GPX) se presentan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Comparación de resultados determinados en estudios de bovinos productores de carne con fuentes inorgánicas contra quelatos de selenio.

Estudio	Forma	Fuente	Concentración de Selenio en sangre o plasma	Ganancia de peso	Concentración de Selenio en músculo	Actividad de glutatión peroxidasa	Mejoras en becerros	Variables Reproductivas
Gunter et al. (2003).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃		=	ND		=	=
	quelato	Se-lev	>	=	ND	>	=	=
Slavik et al. (2008).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃		ND	ND		ND	ND
	quelato	Se-lev	>	ND	ND	>	ND	ND
Arthington, (2008).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃	=	ND	ND	=	ND	ND
	quelato	Se-lev	=	ND	ND	=	ND	ND
Lee et al. (2007).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃		=			ND	ND
	quelato	Se-lev	>	=		>	ND	ND
	quelato	Se-Hongo	>	=	>	>	ND	ND
Lawler et al. (2004).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃	ND	=		ND	ND	ND
	quelato	Se-trigo	ND	=	>	ND	ND	ND
Nicholson et al. (1991).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃		ND	ND		ND	ND
	quelato	Se-lev	>	ND	ND	>	ND	ND
Awadeh et al. (1998).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃		=	=			=
	quelato	Se-lev	>	=	=	>	>	=

Na₂SeO₃; Selenito de sodio; Se-lev; selenio levadura.

Mejoras en becerro; peso al nacer, ganancia de peso, ganancia total de peso, mortalidad y ganancia de peso diaria. Mejoras reproductivas; aumento de fertilidad, reducción de intervalos entre parto

. Cuando; > los resultados fueron significativamente mayores, = los tratamientos no tuvieron diferencias significativas, ND no determinado.

Enfermedades; retención de placenta, fiebre, cetosis, la mastitis, metritis puerperal aguda, endometritis clínica y endometritis subclínica, gábarro.

Al adicionar fuentes de selenio en el heno de trigo se registró 9 veces más selenio que las recomendadas en NRC causando mayor concentración de selenio en músculo que la combinación con selenio que selenito de sodio (Lawler, Taylor, Finley, y Caton 2004). La complementación con selenio-levadura por 22 meses fue más eficaz para el mantenimiento de concentraciones de selenio en el organismo y productos animal así como para actividad de GPX en la sangre que con complementación con selenito de sodio (Awadeh, Kincaid, y Johnson 1998).

La fuente de selenio influye en la concentración de selenio en sangre y plasma sanguíneo, en la mayoría de los casos fue mayor para selenio levadura o para otro complejo. Gunter, Beck, y Philip (2003) reportaron 23% más selenio en sangre de vacas complementadas con selenio-levadura respecto a las complementadas con selenito de sodio. Con complementación de 50 mg de Se kg^{-1} , Slavik *et al.* (2008) reportaron que al complementar 50 mg de Se kg^{-1} de alimento, las concentraciones de selenio en sangre pasaban a 93 $\mu\text{g L}^{-1}$ para vacas complementadas con selenio-levadura y a 68 $\mu\text{g L}^{-1}$ para las complementadas con selenito de sodio y 35 $\mu\text{g L}^{-1}$ en las vaca control. Para una cantidad 55.5 veces menor (0.9 mg de selenio kg^{-1} de la dieta base). Lee *et al.* (2007) observaron 18 $\mu\text{g L}^{-1}$ en sangre cuando la fuente de selenio fue el complejo selenio-levadura, es decir, 0.6 veces superior que con selenito de sodio (11 $\mu\text{g L}^{-1}$). Awadeh *et al.* (1998) con 60 ppm de selenito de sodio al día, registraron menos concentración de selenio en la sangre de vacas lecheras complementadas con selenio-levadura. Sin embargo, Arthington (2008) con 5 mg d^{-1} de selenio-levadura o selenito de sodio no encontró ningún cambio en la concentración de selenio en plasma sanguíneo de vacas lecheras complementadas.

En algunos estudios, la ganancia de peso no fue influenciada por la fuente de selenio. En vacas complementadas con selenito de sodio y selenio-levadura por dos años consecutivos no se detectó efecto alguno sobre el peso vivo de becerros al nacer o como ganancia de peso (Awadeh *et al.*, 1998).

Similarmente, el peso vivo corporal, el consumo de materia seca, la ganancia de peso total y la ganancia de peso diaria no fueron influenciados por la fuente de selenio en la dieta (Gunter *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2007).

En la mayoría de los casos La actividad de GPX aumentó al adicionar selenio-levadura a la dieta base de bovinos productores de carne. Por ejemplo en becerros lactantes de vacas complementadas con selenio-levadura (Gunter *et al.*, 2003). La actividad fue mayor ($364.7 \mu\text{kat L}^{-1}$ vs $283.8 \mu\text{kat L}^{-1}$) con selenio-levadura que con selenito de sodio (Slavik *et al.*, 2008). Aunque en algunos estudios el complejo selenio-levadura no mejoró la actividad de la enzima, en otros la mayor actividad de la enzima fue en los primeros 30 días del periodo de estudio (Arthington, 2008). El efecto en la enzima fue independiente del cambio en la concentración de selenio en la sangre (Awadeh *et al.*, 1998).

La concentración de selenio en el músculo aumentó con selenio orgánico, en la mayoría de los casos. Por ejemplo, al adicionar altas concentraciones de selenio orgánico en la dieta de forraje para bovinos productores de carne (Lawler *et al.*, 2004). También se han registrado de 2 a 3 veces más selenio en hígado de bovinos productores de carne (Lee *et al.*, 2007).

Mejoras en becerros solo fueron encontradas en el estudio de Awadeh *et al.* (1998) en donde reportaron mayores concentraciones de selenio y actividad de GPX, estos resultados según los autores lo explican por el traspase de selenio en la placenta o en el calostro. En otro estudio hecho por Gunter *et al.* (2003) no reportaron diferencias en becerros alimentados con selenio-levadura o con selenito de sodio.

Por último, la fuente de selenio parece no afectar la reproducción de los bovinos productores de carne. Por ejemplo, Gunter *et al.* (2003) registraron tasas de concepción e intervalo entre parto similares de vacas complementadas con selenito de sodio o selenio-levadura y no complementadas. Awadeh (1998) no detectó cambios en las tasas de gestación.

2.5.4 Efectos de las fuentes de selenio en ovinos

Los efectos de la complementación con selenio inorgánico y con selenio orgánico en ovinos, se midieron como concentración de selenio en sangre o plasma sanguíneo, en ganancia diaria de peso y en músculo; así como, actividad de glutatión peroxidasa (GPX) y como mejoras en número de corderos nacidos y mejora en la reproducción (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de principales resultados determinados en estudios de ovinos con fuentes inorgánicas contra quelatos de selenio.

Estudio	Forma	Fuente	Concentración de selenio en sangre	Ganancia de peso	Concentración de Selenio en músculo	Actividad de GPX	Mejoras en corderos	Variables Reproductivas
Tiwary et al. (2006).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃		ND		=	ND	ND
	quelato	Se-Met	>	ND	>	=	ND	ND
Qin et al. (2007).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃		=			ND	ND
	quelato i	Se-lev	>	=	>	>	ND	ND
	quelato	Se-probiótico	>	=	>	>	ND	ND
Juniper et al. (2008).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃	=	=		=	ND	ND
	quelato	Se-lev	=	=	>	=	ND	ND
Vignola et al. (2008).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃		ND		=	ND	ND
	quelato	Se-lev	>	ND	>	=	ND	ND
Steen et al. (2008).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃		ND		ND		=
	Quelato	Se-lev	>	ND	>	ND	>	=
Stewart et al. (2012a).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃		ND		ND		ND
	Quelato	Se-lev	>	ND	>	ND	>	ND
Stewart et al. (2012b).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃	ND		ND	ND		=
	Quelato	Se-lev	ND	>	ND	ND	>	=
Stewart et al. (2013).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃	ND	ND	ND	ND	=	ND
	Quelato	Se-lev	ND	ND	ND	ND	=	ND
Hall et al. (2012).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃ y Na ₂ SeO ₄		ND	ND	ND	ND	ND
	Quelato	Se-lev	>	ND	ND	ND	ND	ND
Rock et al. (2001).	inorgánico	Na ₂ SeO ₄		ND				=
	Quelato	Se-lev	>	ND	>	>	>	=
Rodinova et al. (2008).	inorgánico	Na ₂ SeO ₃	ND	ND	ND	ND	=	ND
	Quelato	Se-alga	ND	ND	ND	ND	=	ND
Muñoz et al. (2008).	inorgánico	Sin suplemento			ND			=
	Quelato	Se-lev	>	>	ND	>	>	=
Segovia et al. (2008).	Inorgánico	Na ₂ SeO ₃	ND	=	ND	ND		ND
	quelato	Se-lev	ND	=	ND	ND	>	ND

Na₂SeO₃ ; Selenito de sodio. Se-Met; selenio-metionina. Se-lev; selenio-levadura.

Mejoras en corderos; aumento de selenio en sangre o músculo, mejoras en; peso al nacer, ganancia de peso, ganancia total de peso, mortalidad y ganancia de peso diaria. Cuando; > los resultados fueron significativamente mayor en comparación al inorgánico o al testigo. = los tratamientos no tuvieron diferencias significativas. ND; no determinado.

La concentración de selenio en sangre o plasma sanguíneo de ovinos aumentó con fuentes de selenio orgánico que con fuentes de selenio inorgánico o grupo de ovinos control (Cuadro 3). Por ejemplo, Qin, Gao, y Huang (2007) publicaron incrementos de 132% en la concentración de selenio en sangre con selenito, de 164% con selenio-levadura y 167% con probióticos enriquecido con selenio. Steen, Strom, y Bernhoft (2008) registraron aumentos en la concentración de selenio en la sangre de ovejas con selenio orgánico ($0.28 \mu\text{g g}^{-1}$) y con selenio inorgánico ($0.24 \mu\text{g g}^{-1}$). Juniper, Phipps, Ramos-Morales y Bertin (2008) evidenciaron que cuando se aumenta la cantidad de selenio aumenta linealmente la cantidad de selenio en sangre. En un estudio diseñado para evaluar el efecto de la complementación de selenio (quelatado e inorgánico), Hall *et al.* (2012) reportaron que la complementación con 14.7 mg de selenio levadura a la semana por oveja tenía el mismo efecto (363 ng ml^{-1}) que la complementación con 24.5 mg de selenito de sodio por semana en concentración de selenio en sangre.

Los beneficios de complementar con selenio la dieta de ovejas se han estudiado en la sangre o músculo, peso al nacer, ganancia de peso, ganancia total de peso y mortalidad. Stewart, Bobe, Vorachek, y Pirelli (2012b) observaron aumento en la tasa de corderos destetados y mejora en la salud de la oveja y cordero al proporciona 24.5 mg/semana selenio-levadura a ovejas en gestación, con deficiencia de selenio. Con esta dosis los corderos pesaron 1.2 kg más que con selenio inorgánico, a 60 d de edad, y 2.8 kg más pesados a 120 d. En otro estudio de ovejas complementadas con selenio-levadura, 14 d previos al empadre hasta 90 d después del apareamiento, destetaron corderos 2.0 kg más pesados y reportaron menor mortalidad predestete (Muñoz *et al.*, 2008). Los corderos de ovejas complementadas con selenio

orgánico ($0.21 \mu\text{g g}^{-1}$) tuvieron 30% ($0.27 \mu\text{g g}^{-1}$), más selenio en su suero sanguíneo (Steen *et al.*, 2008). En corderos de ovejas complementadas con selenio levadura, Rock, Kincaid, y Carstens (2001) detectaron mayor concentración de selenio y mayor actividad de GPX en sangre que en aquellos de ovejas complementadas con selenito de sodio. Por su parte, Segovia *et al.* (2008) reportaron que los corderos de ovejas que consumieron dietas complementadas con selenio orgánico fueron más pesados y que las ovejas parieron más corderos. Por el contrario Qin *et al.* (2007) registraron similares efectos del selenio en corderos al proporcionar a sus madres selenio-levadura o probióticos enriquecidos con selenio.

En la mayoría de los artículos consultados, se reportaron mayores concentraciones de selenio en el músculo de corderos con suplemento de selenio orgánico comparado con fuentes de selenio inorgánico. La adición de selenio-levadura y probióticos enriquecidos con selenio en la dieta de corderos, causaron mayor concentración de selenio en músculo (0.425 mg kg^{-1}) que el adicionar selenito de sodio (0.156 mg kg^{-1}) o no adicionar alguna fuente de selenio (0.085 mg kg^{-1}), según Qin *et al.* (2007). El selenio quelatado adicionado en la dieta de corderos aumentó en 50% la concentración de selenio en músculo de corderos (0.12 mg kg^{-1} BH) que el proporcionar selenio inorgánico (0.08 mg kg^{-1} BH), según Steen *et al.* (2008) o proporcionar selenito de sodio (0.66 vs. $0.43 \mu\text{g g}^{-1}$) según Vignola *et al.* (2008). El selenio levadura causó aumento en la cantidad de selenio en el músculo de corderos (0.61 mg kg^{-1} MS vs. 0.48 mg kg^{-1} MS) superando a selenito de sodio según Juniper *et al.* (2008).

La actividad de GPX en sangre de ovinos aumentó en la mayoría de los casos como fue el caso de bovinos productores de carne.

Según Qin *et al.* (2007) la concentración GPX en sangre de ovinos fue mayor con selenio-levadura (443 U L^{-1}) y probióticos enriquecidos con selenio (511 U L^{-1}) comparado con la concentración en la sangre de corderos control (306 U L^{-1}).

Con relación a variables reproductivas estudiadas no se reportaron diferencias. Stewart *et al.* (2012b); Rock *et al.* (2001) reportaron que la forma química y la dosis de selenio no afectó la proporción de ovejas que requirieron asistencia al parto o el número de corderos nacidos o destetados por oveja año.

2.5.5 Efectos de las fuentes de zinc en vacas lecheras

Los efectos de la complementación con zinc inorgánico comparados con fuentes de zinc quelatados en bovinos lecheros, se midió la concentración de zinc en leche o calostro, concentración de zinc en sangre o plasma sanguíneo, en ganancia de peso, producción de leche, enfermedades, así como variables reproductivas. Los resultados para cada estudio con únicamente complementación de zinc se presentan en el Cuadro 4. Los resultados de los estudios que evaluaron los efectos de la complementación de una base de minerales se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 4. Comparación de principales resultados en estudios de fuentes orgánicas contra inorgánicas de zinc en vacas lecheras.

Estudio	Forma	Fuente	Concentración de zinc en leche o calostro	Mejoras en ganancia de peso	Concentración de zinc en suero o plasma	Conteo de células somáticas	Producción de leche	Enfermedades	Variables Reproductivas
Cope et al. (2009).	inorgánico	ZnSO ₄	=	=	=	=		=	ND
	complejo	Zn-met	=	=	=	=	>	=	ND
Nocek et al. (2006).	inorgánico	ZnSO ₄	ND	ND	ND	ND		=	=
	complejo	Zn-met	ND	ND	ND	ND	>	=	=
Campbell et al. (1999).	inorgánico	ZnSO ₄	ND	ND	ND	=	=	=	=
	complejo	Zn-met	ND	ND	ND	=	=	=	=
Uchida et al. (2001).	inorgánico	ZnSO ₄	=	=	ND	=	=	ND	
	complejo	Zn-met	=	=	ND	=	=	ND	>
Sobhanirad et al. (2010).	inorgánico	ZnSO ₄	=	ND	ND	=	=	ND	ND
	complejo	Zn-met	=	ND	ND	=	=	ND	ND
Gaafar et al. (2010).	inorgánico	Sin supl	ND	ND	ND		ND		ND
	complejo	Zn-Met	ND	ND	ND	>	ND	>	ND
Kinal et al. (2007).	inorgánico	ZnSO ₄		ND	=	ND	ND	ND	ND
	complejo	Zn-met	>	ND	=	ND	ND	ND	ND

ZnSO₄ ; Sulfato de zinc. Zn-met; zinc-metionina. Cuando; > los resultados fueron significativamente mayor en comparación al inorgánico o al testigo, = los tratamientos no tuvieron diferencias significativas, ND no determinado. Enfermedades; retención de placenta, fiebre, cetosis, la mastitis, metritis puerperal aguda, endometritis clínica y endometritis subclínica, gabarro.

Cuadro 5. Comparación de principales resultados en estudios de fuentes orgánicas contra inorgánicas de zinc combinado con otros minerales en vacas lecheras.

Estudio	Forma	Fuente	Concentración de Zn en leche o calostro	Mejoras en ganancia de peso	Concentración de Zn en suero o plasma	Conteo de células somáticas	Producción de leche	Enfermedades	Mejoras Reproductivas
Nemec et al. (2012).	inorgánico	Cu, Mn y Zn sulfatos	ND	ND	=	ND	=		ND
	complejo	Cu, Mn y Zn-met	ND	ND	=	ND	=	>	ND
Ballantine et al. (2002).	inorgánico	Zn, Mn, Cu y Co sulfatos	ND	ND	ND	=			
	complejo	Zn, Mn, Cu y Co. Con AA	ND	ND	ND	=	>	>	>
El Ashry et al. (2012).	inorgánico	Zn, Cu y Mn sulfatos	ND	ND	ND	ND		ND	ND
	complejo	Zn, Cu y Mn metionina	ND	ND	ND	ND	>	ND	ND
	inorgánico	Zn, Mn, Cu y Co sulfatos	ND	=	ND	ND		=	=
Hackbart et al. (2010).	complejo	Zn-met, Mn-met, Cu-lis, y Co-glucoheptanato	ND	=	ND	ND	>	=	=
Siciliano-Jones et al. (2008).	inorgánico	Zn, Mn, Cu y Co sulfatos	ND	ND	ND	=			=
	complejo	Zn, Mn, Cu, y Co quelatados	ND	ND	ND	=	>	>	=
Kincaid et al. (2004).	inorgánico	Zn, Mn, Cu y Co sulfatos	>	=	=	=	=	ND	=
	complejo	Zn, Mn, Cu, y Co quelatados		=	=	=	=	ND	=
	inorgánico	Zn, Cu, Se, Cr, Mg, Co, Fe y S.	ND	ND	ND	ND		ND	ND
Del Valle et al. (2015).	complejo	Carbo-amino-Fosfo-quelatos de Zn, Cu, Se, Cr, Mg, Co, Fe y S.	ND	ND	ND	ND	>	ND	ND

Zn; zinc. Cu; cobre. Se; selenio. Cr; cromo. Mn; manganeso. Mg magnesio. Co; cobalto. Fe; hierro. S; azufre. met; metionina. AA; aminoácidos. Cuando; > los resultados fueron significativamente mayores en comparación al inorgánico o al testigo; = los tratamientos no tuvieron diferencias significativas; ND no determinado. Enfermedades; retención de placenta, fiebre, cetosis, la mastitis, metritis puerperal aguda, endometritis clínica y subclínica, gabarro.

En cuatro de cinco estudios (Cope *et al.*, (2009); Uchida *et al.*, (2001); Sobhanirad *et al.*, (2010); Kincaid *et al.*, (2004) con complementación de zinc se concluye que la concentración de este mineral en la leche no es mayor con la complementación del mineral en forma de quelato o con forma inorgánica. Sin embargo, existe la controversia ya que Cope, Mackenzie, Wilde, y Sinclair (2009) concluyeron que al suministrar zinc por 14 semanas al inicio de la lactancia no se pueden ver los efectos, se necesita más tiempo de complementación para observar cambios. Una menor concentración de zinc en calostro de los animales alimentados con quelatos en comparación a los alimentados con fuentes inorgánicas fue encontrada por Kincaid y Socha, (2004). Por su parte Kinal *et al.* (2007), reportaron un aumento de Ca, P, Zn y Cu en calostro de las vacas que recibieron 30% de las necesidades de Zn, Cu y Mn en forma de quelato.

La eficiencia de ganancia de peso después del parto no es mejor en animales complementados con de zinc quelatado comparada con la de animales que consumieron una fuente inorgánica. Al alimentar a los animales con 66% de lo recomendado por el NRC (2001) con zinc-metionina se obtuvo un peso corporal de 621 kg frente a 616 kg de los animales complementados con la misma cantidad con zinc inorgánico, aunque los efectos no fueron significativos (Cope *et al.*, 2009). Por su parte Kincaid *et al.* (2004) Reportaron que vacas complementadas con una combinación de minerales inorgánicos y quelatos perdieron menos peso al parto, sin llegar a afectar la condición corporal.

La fuente de zinc no influye en la concentración de zinc en suero o plasma sanguíneo. En todos los casos la concentración es similar en de los animales complementados con zinc quelatado respecto a los complementados con la fuente de zinc inorgánica. Cope *et al.* (2009) observaron que al alimentar a los animales con 66% del nivel recomendado por el NRC (2001) los niveles de zinc en plasma con distintas fuentes fueron similares.

El número de células somáticas disminuye 27.9% y 21.1% al complementar con 5 y 10 g de zinc-metionina d⁻¹, respectivamente, en comparación con el grupo

testigo (Gaafar, Basiuoni, Ali, Shitta, y Shamas, 2010). Por su parte, Cope *et al.* (2009) reportan una disminución de células somáticas con complementación de cualquier fuente de zinc, así como mejoras en la salud de la ubre. En su meta-análisis Rabiee *et al.* (2010) reportaron que con la complementación de Cu, Zn y Mn quelatados hubiera cambios en el conteo de células somáticas. Campbell, Miller y Schrick (1999) concluyeron que no hay cambios en células somáticas al complementar a las vacas con 26 mg de cobalto-glucoheptanato, 125 mg de cobre-lisina, 199 mg de manganeso-metionina, y 359 mg de zinc-metionina.

Los cambios con respecto a la producción de leche los ocho de los estudios que determinaron este parámetro reportan aumento de producción y cinco estudios concluyen que no hay aumento alguno al complementar con diferentes fuentes de zinc.

Las vacas complementadas con quelatos de zinc producían 4.2% más de leche en comparación con las vacas complementadas con zinc inorgánico (Nocek, Socha, y Tominson 2006). Por su parte, Cope *et al.* (2009) concluyeron que al complementar zinc quelatado había un aumento de 2.4 kg d⁻¹ de leche, con 66% de los requerimientos por el NRC (2001) con zinc-metionina se logran los mismos resultados que con 100% de sulfato de zinc. En su ensayo, Ballantine *et al.* (2002) reportaron que las vacas complementadas con Zn, Mn, Cu y Co unidos a aminoácidos produjeron 1.2 litros de leche más que las que reciben los mismos minerales en forma de sulfato u óxido. Gaafar *et al.* (2012) concluyeron que al dar Zn, Cu y Mn unidos a metionina aumenta 11.1% la producción de leche (1.53 litros para este experimento). En su estudio, Siciliano-Jones, Socha, Tomlinson y DeFrain (2008) reportaron un aumento de producción de leche de 3.2% con minerales orgánicos en comparación con las complementadas con minerales inorgánicos. En su meta-análisis, Rabiee *et al.* (2010) concluyeron que complementar con quelatos aumentó la producción de leche en 0.93 kg d⁻¹, grasa en 0.04 kg d⁻¹, la proteína en 0.03 kg d⁻¹ y las células somáticas en leche no se ven afectadas por el tratamiento. Del Valle *et al.* (2015) reportaron que al suministrar una fuente de minerales quelatados había aumento en la producción

de 0.63 kg de leche y 1.4 g de contenido de grasa por kg de leche, este autor concluyó que los minerales quelatados mejoran la producción de leche únicamente por mejores contenidos de grasa, sin afectar otros parámetros. En otro estudio, El Ashry, Hassan, y Soliman (2012) reportaron que vacas complementadas 6 semanas antes del parto y durante 3 meses después del parto con quelatos (15 mg Zn, 20 mg Mn y 10 mg Cu, unidos a metionina) produjeron 15.31 kg d⁻¹ de leche con respecto con 13.78 kg d⁻¹ de las vacas que recibieron minerales inorgánicos (15 mg Zn como ZnSO₄, 20 mg Mn como MnSO₄, 10 mg Cu como CuSO₄). Sin embargo, en otros estudios, Campbell *et al.* (1999); Hackbart *et al.* (2010); Kincaid *et al.* (2004); Uchida *et al.* (2001); Sobhanirad *et al.* (2010), concluyeron que la producción de leche no se ve afectada.

Algunos estudios concluyeron que el complementar minerales quelatados había algunas mejoras en enfermedades principalmente relacionadas con la salud de la ubre. Por ejemplo, Gaafar *et al.* (2010) reportaron disminución del tiempo de recuperación, así como el costo de la recuperación de mastitis clínica o subclínica con zinc-metionina respecto a vacas sin complemento. Ballantine *et al.* (2002) encontraron que el índice de lesiones de pezuña bajó considerablemente y cuando se presenta el trastorno, su gravedad se reduce cuando el ganado es complementado con quelatos de minerales traza en comparación al tratamiento con sulfatos. Nemec *et al.* (2012) reportaron que los tratamientos complementados con quelatos de minerales tuvieron aumento en anticuerpos a la vacuna de rabia respecto a los complementados con sulfatos. Siciliano-Jones *et al.* (2008) reportaron disminución de la presencia de dermatitis interdigital, y que la severidad de la erosión del talón tiende a ser menor con quelatos.

Respecto a mejoras en el área reproductiva, la mayoría de los estudios no reportan diferencia de usar minerales quelatados respecto a la fuente de mineral inorgánico. Sin embargo, Ballantine *et al.* (2002) reportaron 28.3% mayor de vacas preñadas en las vacas servidas a 150 d en leche y mayores

tasas de concepción al primer servicio, pero no hay diferencia en las vacas servidas a 250 d cuando se complementaron con minerales quelatados respecto a las complementadas con minerales inorgánicos. Siciliano-Jones *et al.* (2008) reportaron mejores tasas de concepción al primer servicio, pero sin efecto en las tasas de concepción con más servicios. Las vacas complementadas con quelatos tendían a tener menores servicios por concepción y menos días a la concepción (Uchida, Mandebvu, Ballard, Sniffen, y Carter 2001). Nocek *et al.* (2006) determinaron mayor fertilidad para vacas complementadas con una combinación 50% quelatos y 50% inorgánicos de Zn, Mn, Cu y Co en base al 100% de los requerimientos del NRC (2001) contra las vacas recibiendo los tratamientos con complementación de solo quelatos o inorgánicos, estos cambio los atribuyen al incremento en el suministro de Mn y Co.

2.5.6 Efectos de las fuentes de zinc en bovinos productores de carne

Los efectos de la complementación con zinc inorgánico comparados con quelatos de zinc en bovinos productores de carne, se midió la concentración de zinc en sangre o plasma, órganos o músculos, mejoras en ganancia de peso, eficiencia alimenticia, enfermedades y mortalidad, mejoras reproductivas y mejoras en la canal. Resultados de estudios con complementación de zinc se presentan en el Cuadro 6. Los resultados de los estudios que evaluaron los efectos de la complementación de varios minerales se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 6. Comparación de principales resultados en estudios de fuentes orgánicas contra inorgánicas de zinc en bovinos productores de carne.

Estudio	Forma	Fuente	Concentración en suero o plasma	Ganancia de peso	Concentración en órganos o músculo	Eficiencia alimenticia	Enfermedades y mortalidad	Variables Reproductivas	Mejoras en la canal
Greene et al. (1988).	inorgánico	ZnO	=	=		=	ND	ND	
	complejo	Zn-met	=	=	>	=	ND	ND	>
Spears (1989).	inorgánico	ZnO	=	=	ND		ND	=	ND
	complejo	Zn-met	=	=	ND	>	ND	=	ND
Arthington et al. (1995).	inorgánico	ZnSO ₄	ND	ND	ND	ND	ND		ND
	complejo	Zn-met	ND	ND	ND	ND	ND	>	ND
Malcolm- Callis et al. (2000).	inorgánico	ZnSO ₄	=	=	ND	=	ND	ND	=
	complejo	Zn-AA	=	=	ND	=	ND	ND	=
	inorgánico	Zn polisacárido	=	=	ND	=	ND	ND	=
	complejo	ZnO	=	=	=	=	ND	ND	=
Kessler et al. (2003).	inorgánico	Zn-proteinato	=	=	=	=	ND	ND	=
		Zn-polisacárido	=	=	=	=	ND	ND	=
Spears y Kegley, (2002)	inorgánico	ZnO	=	=	ND	=	=	ND	
	complejo	Zn-Prot A 10% Zn	=	=	ND	=	=	ND	>
	inorgánico	Zn-Prot B 15% Zn	=	=	ND	=	=	ND	>
Huerta et al. (2002).	complejo	ZnSO ₄		>	=	ND	>	ND	
	inorgánico	Zn-met	>		=	ND		ND	>
Spears et al. (1991 ^a).	complejo	ZnO	ND	=	ND	ND		ND	ND
	inorgánico	Zn-met	ND	=	ND	ND	>	ND	ND
	complejo	ZnSO ₄		ND		ND	ND	ND	ND
Spears et al. (2004).	inorgánico	Zn-met	>	ND		ND	ND	ND	ND
		Zn-Glicina	>	ND	>	ND	ND	ND	ND
Nunnery et al. (2007).	inorgánico	ZnSO ₄	=	=	ND	=	=	=	=
	complejo	Zn-met	=	=	ND	=	=	=	=

ZnO ; óxido de zinc. ZnSO₄ ; sulfato de zinc. Met; metionina Cuando; >los resultados fueron significativamente mayor en comparación al inorgánico o al testigo. = los tratamientos no fueron diferentes significativamente. ND no determinado. Enfermedades; retención de placenta, fiebre, cetosis, la mastitis, metritis puerperal aguda, endometritis clínica y endometritis subclínica, gabarro.

Cuadro 7. Comparación de resultados en estudios de fuentes orgánicas contra inorgánicas de zinc combinado con otros minerales en bovinos productores de carne.

Estudio	Forma	Fuente	Concentración en suero	Ganancia de peso	Concentración en órganos o músculo	Eficiencia alimenticia	Enfermedades y mortalidad	Mejoras Reproductivas	Mejoras en canal
Olson et al. (1999).	inorgánico	Cu, Co, Mn, y Zn	=	ND	=	ND	ND	=	ND
	Complejo	Cu, Co, Mn, y Zn	=	ND	=	ND	ND	=	ND
Ahola et al. (2004).	inorgánico	CuSO ₄ , ZnSO ₄ Y MnSO ₄	=	=	>	ND	ND	=	ND
	Complejo	Zn, Cu y Mg 50% proteinato	=	=		ND	ND	=	ND
Vázquez-Añón et al. (2007).	inorgánico	ZnSO ₄	=	=	ND	=		ND	
	Complejo	(Zn, Cu Y Mn) HMTBA	=	=	ND	=	>	ND	>
Galyean et al. (1995).	inorgánico	CuSO ₄ y ZnSO ₄	=	=	ND	=			
	Complejo	Cu lisina y Zn-Met	=	=	ND	=	>	>	>
Salzer et al. (2004).	inorgánico	CuSO ₄ y ZnSO ₄	=	=	ND	=		ND	ND
	Complejo	Cu y Zn-polisacáridos	=	=	ND	=	>	ND	ND
Lamb et al. (2008).	inorgánico	Min inorgánicos	ND	ND	ND	ND	ND	=	ND
	Complejo	Min orgánicos	ND	ND	ND	ND	ND	=	ND
Kegley et al. (2012).	inorgánico	Sulfatos de Zn, Cu, Mn y Co	=		ND	ND	ND	ND	ND
	complejo	Aminoácidos unidos con Zn, Cu, Mn y Co	=	>	ND		>	ND	ND

HMTBA = ácido 2-hidroxi-4-metilbutírico. Cuando; > los resultados fueron significativamente mayor en comparación al inorgánico o al testigo. = los tratamientos no fueron diferentes significativamente. ND; no determinado. Enfermedades; retención de placenta, fiebre, cetosis, la mastitis, metritis puerperal aguda, endometritis clínica y endometritis subclínica, gubarro.

El complemento de zinc en forma de quelato no afecta los niveles de este mineral en suero o plasma en la mayoría de los estudios, con excepción de Huerta *et al.* (2002) y Spears *et al.* (2004) quienes reportaron un aumento de zinc en suero al usar zinc-metionina y zinc-glicina comparado con la fuente inorgánica.

El efecto en ganancia diaria de peso con diferente fuente de zinc no está claro ya que se encontraron resultados diferentes. Por ejemplo, Spears (1989) reportó que novillas complementadas con zinc-metionina en los primeros 56 d ganaron peso más eficiente y rápido que novillas testigos. Sin embargo, las ganancias medias de peso al final del ensayo no fueron diferentes. Un aumento de alrededor de 15 kg de peso en la canal caliente de los animales complementados con zinc-proteína respecto a animales complementados con óxido de zinc fue reportado por Spears y Kegley (2002), pero sin reportar diferencia en ganancia diaria de peso. Los animales complementados con quelatos tuvieron al final 4.6 kg más en comparación con animales complementados con fuentes inorgánicas (Kegley Pass, Moore, y Larson, 2012). Huerta *et al.* (2002) reportaron que en vaquillas y novillos para carne implantados con Synovex H y Synovex S respectivamente y con una ración de 64 ppm, al ser complementados con 200 ppm de ZnSO_4 hubo mayor ganancia de peso, el implante no tiene efecto cuando los animales son complementados con 200 ppm de zinc-metionina. Sin embargo, las vaquillas y novillos no implantadas complementadas con zinc-metionina tuvieron 26% mayor ganancia de peso que vaquillas implantadas y complementadas con zinc-metionina.

En algunos estudios la concentración de zinc en tejido muscular u órganos aumentó con la fuente de quelato de zinc. En un ensayo complementando vacas en pastoreo durante dos años con Zn, Cu y Mn quelatados, se obtuvo menor concentración de zinc en hígado comparadas con las complementadas con los mismos minerales en forma inorgánica. Sin embargo, las complementadas con minerales quelatados al final de los dos años del ensayo tuvieron becerros más pesados al destete (Ahola *et al.*, 2004). En una engorda

de novillos Angus complementados con 360 mg de zinc d^{-1} en diferentes fuentes y alimentados con una ración que contenía 81 ppm, se observó que los novillos complementados con zinc-metionina tuvieron entre 10.5 y 12.8% más de grasa en riñón y corazón que los animales testigo y los complementados con óxido de zinc, respectivamente (Greene *et al.*, 1988).

En la mayoría de los estudios, complementar con minerales quelatados no se asocia con mejor eficiencia alimenticia. Sólo Spears (1989) alimentando novillas en crecimiento con una dieta con 23.1 mg kg^{-1} , complementada con 25 mg kg^{-1} de zinc como óxido de zinc o zinc-metionina, la ganancia diaria de peso, la eficiencia alimenticia y los servicios por concepción fueron similares para novillas control y complementadas con óxido de zinc. Durante los primeros 126 d las novillas que recibieron zinc-metionina tuvieron mejor conversión alimenticia (7.8 kg de alimento kg^{-1} de peso) que las complementadas con óxido de zinc (8.18 kg de alimento kg^{-1} de peso) o las del testigo (8.41 kg de alimento kg^{-1} de peso).

En las respuestas de enfermedades y mortalidad ocurre una situación interesante, cuando los animales fueron tratados solo con una fuente de zinc sin involucrar otros minerales se observaron mejoras en los animales que recibieron la fuente de minerales inorgánicos, solo en el ensayo de Spears, Harvey, y Brown (1991) se reportó que con novillas complementadas con una dieta con 26 ppm de zinc, al complementarlas con 25 ppm de zinc-metionina hubo tendencia a mejorar la respuesta inmune de animales vacunados contra herpesvirus 1 y parainfluenza₃ con 47 y 31% más anticuerpos comparado con los complementados con el tratamiento control u óxido de zinc, respectivamente. Por su parte, Kegley *et al.* (2012) observaron que novillos complementados con zinc (360 mg d^{-1}), cobre (125 mg d^{-1}), manganeso (200 mg d^{-1}) y cobalto (12 mg d^{-1}), en forma inorgánica o de quelato, los animales complementados con minerales quelatados recibieron menos tratamientos de antibióticos, una reducción de 82 centavos de dólar por vaca. Vázquez-Añón, Peters, Hampton, McGrath, y Huedepohl (2007) reportaron que el uso de

37 mg kg⁻¹ de zinc, 17.5 mg kg⁻¹ de cobre y 15.2 mg kg⁻¹ de manganeso (quelatados con ácido 2-hidroxi-4-metilpírrico: *HMTBA*₂) en ganado de engorda con acceso a agua con altos niveles de sulfatos (1,646 mg kg⁻¹) baja la mortalidad (de 4.7 a 2.4%) y la morbilidad (de 47.1 a 37.8%). Galyean *et al.* (1995) reportaron que la respuesta inmune en enfermedades respiratorias y ganancia de peso fue similar en novillos complementados durante 28 días post-destete, los cuales recibieron los siguientes tratamientos: una dieta base + 30 mg kg⁻¹ de ZnO y 3.25 mg kg⁻¹ de CuO, dieta base + 5 mg kg⁻¹ de cobre-lisina, dieta base + 35 mg kg⁻¹ de zinc-metionina y 5 mg kg⁻¹ de cobre-lisina, dieta base + 70 mg kg⁻¹ de ZnSO₄ y 5 mg kg⁻¹ de Cu-lisina, dieta base + 70 mg kg⁻¹ de zinc-metionina y 5 mg kg⁻¹ de Cu-lisina. En su revisión sobre los micronutrientes y función inmune en el ganado bovino, Spears (2000) concluyó que la deficiencia marginal de zinc probablemente no perjudique la respuesta inmune en el ganado.

La mayoría de los estudios que evalúan variables reproductivas con minerales quelatados no encontraron efecto significativo. Ahola *et al.* (2004) reportaron que las tasas de preñez similares. Sin embargo, mostraron tendencia a ser mayores con fuentes de minerales quelatados o inorgánicos con respecto al grupo control. Spears (1989) reportó que animales con una base de silo de maíz que con 23.1 mg Zn kg⁻¹ las características reproductivas fueron similares cuando se complementó 25 mg kg⁻¹ como óxido de zinc y zinc metionina. Al complementar vaquillas con 108 g de minerales en forma de quelato e inorgánicos, Lamb *et al.* (2008) reportaron que el número de ovocitos fertilizados fue mayor en animales complementados con minerales inorgánicos (2.3 ovocitos) y el control (1.6 ovocitos) respecto a los tratadas con minerales quelatados (0.4 ovocitos), el número de embriones transferibles fue igual entre tratamientos. Sin embargo, Concluyó que la mayor diferencia se debió a las vaquillas y no al tratamiento mineral. Respecto a los machos Arthington, Jhonson, Corah, Wilms, y Hil (1995) reportaron que toros que recibieron 40 ppm de zinc-proteinato tuvieron mejor calidad de semen en todas las medidas de fertilidad que los que recibieron la misma cantidad como sulfato de zinc.

En la presente revisión, en la mayoría de los estudios se presenta aumento de calidad de la canal en diferentes variables. Por ejemplo, Greene, Pinchak y Heitschmidt (1988) alimentando a los animales con una dieta base con 82 ppm al complementar con 360 mg kg⁻¹ de zinc al día de zinc-metionina o óxido de zinc, los novillos complementados con zinc metionina tuvieron mayor grasa externa (13mm) y mejor porcentaje (11.7%) de grasa del riñón, la pelvis y el corazón, respecto con los novillos control o con tratamientos con zinc inorgánico. Por su parte, Spears y Kegley (2002) reportaron 14 y 16 kg más de peso en canal caliente con diferentes niveles de zinc proteína, lo atribuyen a que los novillos tuvieron ($p<0.05$) mayor ganancia de peso, pero sin afectar estadísticamente la ganancia diaria de peso. Huerta *et al.* (2002) reportaron que la cantidad y la fuente de zinc en las dietas afectaron la escala de madurez, grado de calidad y rendimiento de la canal de los canales de novillas. Vázquez-Añón *et al.* (2007) reportaron que la calidad de la canal fue mejorada reduciendo los cortes oscuros de 3.59% a 0.77% y mejoró la posición de la grasa en riñón, pelvis, y área del corazón.

2.5.7 Efectos de las fuentes de zinc en ovinos

Los efectos de la complementación con zinc inorgánico comparados con quelatos de zinc en ovinos, se han evaluado en la concentración de zinc en leche o calostro, concentración de zinc en sangre o plasma sanguíneo, ganancia diaria de peso, concentración en músculos y biodisponibilidad. Los resultados para cada estudio con únicamente complementación de zinc se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Comparación de principales resultados en estudios de fuentes orgánicas contra inorgánicas de zinc en ovinos.

Estudio	Forma	Fuente	Concentración en plasma	Ganancia de peso	Concentración en músculo	Biodisponibilidad
Spears, (1989).	inorgánico	ZnO	=	=	ND	=
	complejo	Zn-Met	=	=	ND	=
	inorgánico	ZnSO ₄	ND	ND	=	100%
Cao et al. (2000).	complejo	Zn-Pro A	ND	ND	=	130%
		Zn-AA	ND	ND	ND	110%
	inorgánico	Zn-Met B	ND	ND	ND	113%
Garg et al. (2007).	inorgánico	ZnSO ₄			ND	
	complejo	Zn-Met	>	>	ND	>
Mallaki et al. (2015).	inorgánico	ZnSO ₄			ND	ND
	complejo	Zn-péptido	>	>	ND	ND

Cuando; > los resultados fueron significativamente mayor en comparación al inorgánico o al testigo. = los tratamientos no fueron diferentes significativamente. ND no determinado.

La biodisponibilidad de zinc en animales complementados con 5 mg kg⁻¹ de zinc-metionina y óxido de zinc fue similar en corderos alimentados con una dieta semi-purificada deficiente en zinc (2.8 mg kg⁻¹), basado en la concentración de zinc plasmático, la actividad de la fosfatasa alcalina y rendimiento de los animales (Spears, 1989). Por su parte Cao *et al.* (2000) reportaron estimaciones globales de biodisponibilidad promedio basados en sulfato de zinc como el 100%, la biodisponibilidad fue de 130, 110, y 113 para zinc-proteinato A, zinc-aminoácidos, y zinc-metionina B, respectivamente. Excepto por zinc-proteinato A, todos los demás fueron similares. Asimismo, probó 8 minerales quelatados zinc A (Zn Met A), complejo zinc metionina B (Zn Met B), complejo polisacárido zinc (Zn Poli), complejo zinc lisina (Lisina Zn), amino zinc-aminoácido (Zn AA), zinc-proteinato A (Zn Pro A), zinc-proteinato B (Zn Pro B), y zinc-proteinato C (Zn Pro C).

La ganancia diaria de peso de los corderos en la mayoría de los artículos fue mayor al complementar con quelato de zinc. Según Garg, Mudgal y Dass (2008) al alimentar por 150 d complementados con 20 mg kg⁻¹ de zinc-metionina incrementó la ganancia diaria de peso (73.3 g d⁻¹) y eficiencia alimenticia respecto al grupo complementado con sulfato de zinc (66.4 g d⁻¹). Mayor ganancia de peso con zinc-péptido (201.4 g d⁻¹) en respecto a los complementados con sulfato de zinc (153.6 g d⁻¹) fue reportado por Mallaki, Norouzian, y Khadem (2015) al complementar corderos alimentados con una dieta que contenía 22.8 mg de zinc kg⁻¹ durante 90 días con 20 mg de zinc-péptido kg⁻¹.

2.5.8 En general

El selenio quelatado tiene mayor acumulación en sangre, suero, músculo y leche. Mejora la actividad de glutatión peroxidasa en sangre y al tener leche con mayor cantidad de selenio, se adjudica que hay mejores crías. Las principales funciones fueron, producción de leche, mortalidad, ganancia de peso, conteo de células somáticas y mejoras reproductivas, determinadas artículos no se ven influenciadas por la fuente de selenio (Cuadro 9).

Respecto al zinc, la fuente de quelato zinc y zinc inorgánico tienen la misma acumulación en tejido o leche, pero el mineral en forma de quelato tiene menores índices de enfermedades, mejora las canales y ocasiona mayor producción de leche (Cuadro 10).

Cuadro 9. Comparación de resultados en estudios con fuentes de selenio quelatado e inorgánico.

	Forma	Concentración de selenio en sangre	Concentración de selenio en leche	Conteo de células somáticas	Actividad de GPX	Producción de leche	Enfermedades	Mejoras Reproductivas
Vacas lecheras	Inorgánico			=	=	=	=	=
	complejo	>	>	=	=	=	=	=
Bovinos productores de carne	Forma	Concentración de selenio en sangre	Ganancia de peso	Concentración de selenio en músculo	Actividad de GPX	Mejoras en becerros	Mejoras Reproductivas	
	Inorgánico		=			=	=	
	complejo	>	=	>	>	=	=	
Ovinos	fuentes	Concentración de selenio en sangre	Ganancia de peso	Concentración de selenio en músculo	Actividad de GPX	Mejoras en corderos	Mejoras Reproductivas	Inmunoglobulinas
	Inorgánico		=				=	=
	complejo	>	=	>	>	>	=	=

Cuando: > los resultados fueron significativamente mayor en comparación al inorgánico o al testigo. = los tratamientos no fueron diferentes significativamente.

Cuadro 10. Comparación de resultados en estudios con fuentes de zinc quelatado e inorgánico.

	Forma	Concentración de Zn en leche o calostro	Mejoras en ganancia de peso	Concentración de Zn en suero o plasma	Conteo de células somáticas	Producción de leche	Enfermedades	Mejoras Reproductivas
Bovinos lecheros	Inorgánico	=	=	=	=			=
	complejo	=	=	=	=	>	>	=
Bovinos productores de carne	Forma	Concentración en suero o plasma	Ganancia de peso	Concentración en órganos o músculo	Eficiencia alimenticia	Enfermedades y mortalidad	Mejoras Reproductivas	Mejoras en canal
	Inorgánico	=	=	=	=		=	
	complejo	=	=	=	=	>	=	>
Ovinos	fuentes	Concentración en plasma	Ganancia de peso	Concentración en músculo	Biodisponibilidad			
	Inorgánico			=				
	complejo	>	>	=	>			

Cuando; > los resultados fueron significativamente mayores en comparación al inorgánico o al testigo. = los tratamientos no fueron diferentes significativamente.

2.6 Conclusiones

El selenio y zinc en forma inorgánica o quelatados cumplen con la función de igual forma. La acumulación del mineral en productos (leche o carne) para consumo humano con minerales quelatados es mayor que con la fuente de minerales inorgánicos. Es recomendable el uso de minerales quelatados en casos donde se presenta algún antagonismo mineral, los minerales quelatados tienen diferentes formas de absorción.

2.7 LITERATURA CITADA

- Arthington, J. D. (2008). Effects of supplement type and selenium source on measures of growth and selenium status in yearling beef steers. *Journal of Animal Science*, 86(6), 1472-1477.
- Arthington, J. D., Johnson, K. R., Corah, L. R., Willms, C. L., & Hill, D. A. (1995). The effect of dietary zinc level and source on yearling bull growth and fertility. Kansas State University. *Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service*, pp 109-110.
- Awadeh, F. T., Kincaid, R. L. & Johnson, K. A. (1998). Effect of level and source of dietary selenium on concentrations of thyroid hormones and immunoglobulins in beef cows and calves. *Journal of Animal Science*, 76(4), 1204-1215.
- Ballantine, H. T., Socha, M. T., Tomlinson, D. J., Johnson, A. B., Fielding, A. S., Shearer, J. K. & Van Amstel, S. R. (2002). Effects of feeding complexed zinc, manganese, copper, and cobalt to late gestation and lactating dairy cows on claw integrity, reproduction, and lactation performance. *The Professional Animal Scientist*, 18(3), 211-218.
- Botacio R., y Garmendia J. (1997). Efecto de la complementación mineral sobre el status mineral, parámetros productivos y reproductivos en bovinos a pastoreo. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 5, 245-247.
- Calamari, L. U. I., Petrera, G. I., Abeni, F. & Bertin, G. F. (2011). Metabolic and hematological profiles in heat stressed lactating dairy cows fed diets supplemented with different selenium sources and doses. *Livestock Science*, 142, 128-137.
- Calamari, L., Petrera, F., & Bertin, G., (2010). Effects of either sodium selenite or Se yeast (Sc CNCM I-3060) supplementation on selenium status and milk characteristics in dairy cows. *Livestock Science*, 128, 154–165.
- Campbell, M. H., Miller, J. K., & Schrick, F. N. (1999). Effect of additional cobalt, copper, manganese, and zinc on reproduction and milk yield of lactating dairy cows receiving bovine somatotropin. *Journal of Dairy science*, 82(5), 1019-1025.
- Cao, J., Henry, P. R., Guo, R., Holwerda, R. A., Toth, J. P., Littell, R. C., Miles, R. D. & Ammerman, C. B. (2000). Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic zinc sources for poultry and ruminants. *Journal of Animal Science*, 78(8), 2039-2054.
- Cerri, R. L. A., Rutigliano, H. M., Lima, F. S., Araujo, D. B., & Santos, J. E. P. (2009). Effect of source of supplemental selenium on uterine health and embryo quality in high-producing dairy cows. *Journal of animal reproduction (Theriogenology)*, 71(7), 1127-1137.

- Cope, C. M., Mackenzie, A. M., Wilde, D., & Sinclair, L. A. (2009). Effects of level and form of dietary zinc on dairy cow performance and health. *Journal of Dairy Science*, 92(5), 2128-2135.
- Del Valle, T. A., Jesus, E. F. D., Paiva, P. G. D., Bettero, V. P., Zanferari, F., Acedo, T. S., & Rennó, F. P. (2015). Effect of organic sources of minerals on fat-corrected milk yield of dairy cows in confinement. *Journal Brasileira de Zootecnia*, 44(3), 103-108.
- El Ashry, G. M., Hassan, A. A. M., & Soliman, S. M. (2012). Effect of feeding a combination of zinc, manganese and copper methionine chelates of early lactation high producing dairy cow. *Food and Nutrition Sciences*, 3(8), 1084.
- Gaafar, H. M. A., Basiuoni, M. I., Ali, M. F. E., Shitta, A. A., & Shamas, A. S. E. (2010). Effect of zinc methionine supplementation on somatic cell count in milk and mastitis in Friesian cows. *Archiva Zootechnica*, 13(2), 36-46.
- Galyean, M. L., Gunter, S. A., Berrie, R. A., Malcolm-Callis, K. J., Brazle, F. K., & Essig, H. W. (1995). Effects of zinc source and level and added copper lysine in the receiving diet on performance by growing and finishing steers. *The Professional Animal Scientist*, 11(3), 139-148.
- Garg, A. K., Mudgal, V., & Dass, R. S. (2008). Effect of organic zinc supplementation on growth, nutrient utilization and mineral profile in lambs. *Animal feed science and technology*, 144, 82-96.
- Greene, L. W., Lunt, D. K., Byers, F. M., Chirase, N. K., Richmond, C. E., Knutson, R. E., & Schelling, G. T., (1988). Performance and carcass quality of steers supplemented with zinc oxide or zinc methionine. *Journal of Animal Science* 66, 1818–1823.
- Gunter, S. A., P. A. Beck, & J. M. Phillips. (2003). Effects of supplementary selenium source on the performance and blood measurements in beef cows and their calves. *Journal of Animal Science*, 81,856-864.
- Hackbart, K. S., Ferreira, R. M., Dietsche, A. A., Socha, M. T., Shaver, R. D., Wiltbank, M. C., & Fricke, P. M. (2010). 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(12), 3856-3870.
- Hall, J. A., R. J. Van Saun, G. Bobe, W. C. Stewart, W. R. Voracheck, W. D. Mosher, T. Nichols, N. E. Forsberg, & G. J. Pirelli, (2012). Organic and inorganic selenium: I. Oral bioavailability in ewes. *Journal of Animal Science*, 90, 568–576.
- Huerta B. M. (2010). Alimentación y Complementación Mineral. In: Memorias del Primer Simposium de Salud y Producción de Bovinos de Carne en la Zona Norte-Centro de México. Aguascalientes, pp 1-14.
- Huerta, M. B., Kincaid, R. L., Cronrach, J. D., Busboom, J., Johnson, A. B., & Swenson, C. K., (2002). Interaction of dietary zinc and growth implants on

- weight gain, carcass traits and zinc in tissues of growing beef steers and heifers. *Anim. Feed Science Technology*, 95, 15–32.
- Juniper, D. T., Phipps, R. H., Ramos-Morales, E., & Bertin, G. (2008). Effect of dietary supplementation with selenium-enriched yeast or sodium selenite on selenium tissue distribution and meat quality in beef cattle. *Journal of Animal Science*, 86(11), 3100-3109.
- Kegley, E. B., Pass, M. R., Moore, J. C., & Larson, C. K. (2012). Supplemental trace minerals (zinc, copper, manganese, and cobalt) as Availa-4 or inorganic sources for shipping-stressed beef cattle. *The Professional Animal Scientist*, 28(3), 313-318.
- Kessler, J., Morel, I., Dufey, P. A., Gutzwiller, A., Stern, A., & Geyer, H. (2003). Effect of organic zinc sources on performance, zinc status and carcass, meat and claw quality in fattening bulls. *Livestock Production Science*, 81(2), 161-171.
- Kinal, S., Korniewicz, A., Slupczynska, M., Bodarski, R., Korniewicz, D., & Cermak, B. (2007). Effect of the application of bioplexes of zinc, copper and manganese on milk quality and composition of milk and colostrum and some indices of the blood metabolic profile of cows. *Czech Journal of Animal Science*, 52(12), 423.
- Kincaid, R. L., & Socha, M. T. (2004). Inorganic versus complexed trace mineral supplements on performance of dairy cows. *The Professional Animal Scientist*, 20(1), 66-73.
- Knowles, S. O., Grace N. D., Wurms, K., & Lee. J. (1999). Significance of amount and form of dietary selenium on blood, milk, and casein selenium concentrations in grazing cows. *Journal of dairy science*, 82(2), 429-437.
- Lamb, G. C., Brown, D. R., Larson, J. E., Dahlen, C. R., DiLorenzo, N., Arthington, J. D., & DiCostanzo, A. (2008). Effect of organic or inorganic trace mineral supplementation on follicular response, ovulation, and embryo production in super ovulated Angus heifers. *Animal reproduction science*, 106(3), 221-231.
- Lawler, T. L., Taylor, J. B., Finley, J. W., & Caton, J. S. (2004). Effect of supranutritional and organically bound selenium on performance, carcass characteristics, and selenium distribution in finishing beef steers. *Journal of Animal Science*, 82(5), 1488-1493.
- Lee, S. H., Park, B. Y., Yeo, J. M., Lee, S. S., Lee, J. H., Ha, J. K., & Kim, W. Y. (2007). Effects of different selenium sources on performance, carcass characteristics, plasma glutathione peroxidase activity and selenium deposition in finishing Hanwoo steers. *Asian Australian journal of animal sciences*, 20(2), 229.
- Malbe, M., Klaassen, W. M., Fang, V. Myllys, M. V., Vikerpuur, M., Nyholm, K., Sankari, W., Suoranta, K., & Sandholm, M. (1995). Comparisons of selenite and selenium yeast feed supplements on Se-incorporation,

- mastitis, and leukocyte function in Se-deficient dairy cows. *The Journal of veterinary medical science*, 42(2), 111-121.
- Mallaki, M., Norouzian, M. A., & Khadem, A. A. (2015). Effect of organic zinc supplementation on growth, nutrient utilization, and plasma zinc status in lambs. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 39(1), 75-80.
- McDowell, L. R., & J. D. Arthington. (2005). *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. (4th ed.). Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA, 94 p.
- Muñoz, C., Carson, A. F., McCoy, M. A., Dawson, L. E. R., Wylie, A. R. G., & Gordon, A. W. (2009). Effects of plane of nutrition of ewes in early and mid-pregnancy on performance of the offspring: female reproduction and male carcass characteristics. *Journal of animal science*, 87(11), 3647-3655.
- Nemec, L. M., Richards, J. D., Atwell, C. A., Diaz, D. E., Zanton, G. I., & Gressley, T. F. (2012). Immune responses in lactating Holstein cows supplemented with Cu, Mn, and Zn as sulfates or methionine hydroxy analogue chelates. *Journal of Dairy Science*, 95(8), 4568-4577.
- 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(7), 2679-2693.
- NRC (National Research Council). (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Edition. (The National Academy Press, Washington, USA).
- Nunnery, G. A., Vasconcelos, J. T., Parsons, C. H., Salyer, G. B., Defoor, P. J., Valdez, F. R., & Galyean, M. L. (2007). Effects of source of supplemental zinc on performance and humoral immunity in beef heifers. *Journal of Animal Science*, 85(9), 2304-2313.
- Olson, P. A., Brink, D. R., Hickok, D. T., Carlson, M. P., Schneider, N. R., Deutscher, G. H., & Johnson, A. B. (1999). Effects of supplementation of organic and inorganic combinations of copper, cobalt, manganese, and zinc above nutrient requirement levels on postpartum two-year-old cows. *Journal of Animal Science*, 77(3), 522-532.
- Ortman, K., & B. Pehrson. (1997). Selenite and selenium yeast as feed supplements for dairy cows. *Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 44, 373-380.
- Ortman, K., & B. Pehrson. (1999). Effect of selenate as a feed supplement to dairy cows in comparison to selenite and selenium yeast. *Journal of Animal Science*, 77, 3365-3370.
- Ortman, K., Andersson, R., & Holst, H. (1999). The influence of supplements of selenite, selenate and selenium yeast on the selenium status of dairy heifers. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 40(1), 23-34.

- Overton, T. R., & Yasui, T. (2014). Practical applications of trace minerals for dairy cattle. *Journal of Animal Science*, 92(2), 416-426.
- Patton, R. (1997). Efficacy of chelated minerals: review of literature. In Proceedings of the 2nd Conference of the Nutrition Advisory Group of the American Zoo and Aquarium Association on Zoo and Wildlife Nutrition. pp, 16-19.
- Qin, S., Gao, J., & Huang, K. (2007). Effects of different selenium sources on tissue selenium concentrations, blood GSH-Px activities and plasma interleukin levels in finishing lambs. *Biological Trace Element Research*, 116, 91–102.
- Rabiee, A. R., Lean, I. J., Stevenson, M. A., & Socha, M. T. (2010). Effects of feeding organic trace minerals on milk production and reproductive performance in lactating dairy cows: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 93(9), 4239-4251.
- Rock, M. J., Kincaid, R. L., & Carstens, G. E. (2001). Effects of prenatal source and level of dietary selenium on passive immunity and thermometabolism of newborn lambs. *Small Ruminant Research*, 40(2), 129-138.
- Rodinova, H., Kroupová, V., Travnicek, J., Stankova, M., & Písek, L. (2008). Dynamics of IgG in the blood serum of sheep with different selenium intake. *Veterinarni Medicina-Praha*, 53(5), 260.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2006). Evaluación Alianza para el Campo. Informe de Evaluación Estatal. 121 p.
- Salter, G. B., Galyean, M. L., Defoor, P. J., Nunnery, G. A., Parsons, C. H., & Rivera, J. D. (2004). Effects of copper and zinc source on performance and humoral immune response of newly received, lightweight beef heifers. *Journal of Animal Science*, 82(8), 2467-2473.
- Schwarz, K., & Foltz, C. M. (1957). Selenium as an integral part of factor 3 against dietary necrotic liver degeneration. *Journal of the American Chemical Society*, 79(12), 3292-3293.
- Segovia, J., Arzola, C., Ruiz, O., Salinas-Chavira, J., Rodriguez-Muela, C., Jimenez, J., & Castillo-Castillo, Y. (2008). Effect of organic and inorganic selenium supplementation on weight performance of ewes and lambs. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7(12), 1555-1558.
- SIAP-SAGARPA (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2011). Dirección de Ganadería. Disponible en: www.siap.gob.mx. Consultado en junio 2015.
- 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(5), 1985-1995.

- Slavik, P., Illek, J., Brix, M., Hlavicova, J., Rajmon, R., & Jilek, F. (2008). Influence of organic versus inorganic dietary selenium supplementation on the concentration of selenium in colostrum, milk and blood of beef cows. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50(1), 1.
- Sobhanirad, S., Carlson, D., & Kashani, R. B. (2010). Effect of zinc methionine or zinc sulfate supplementation on milk production and composition of milk in lactating dairy cows. *Biological Trace Element Research*, 136(1), 48-54.
- Spears, J. W. (1989). Zinc methionine for ruminants: relative bioavailability of zinc in lambs and effects of growth and performance of growing heifers. *Journal of Animal Science*, 66, 1818-1823.
- Spears, J. W. (1996). Organic trace minerals in ruminant nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 58(1), 151-163.
- Spears, J. W. (2000). Micronutrients and immune function in cattle. *Proceedings of the nutrition society*, 59(04), 587-594.
- Spears, J. W. & Kegley, E. B., (1991). Effect of zinc and manganese methionine on performance of beef cows and calves. *Journal of Animal Science*, 69(1), 59.
- Spears, J. W., & Kegley, E. B. (2002). Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *Journal of Animal science*, 80(10), 2747-2752.
- Spears, J. W., Schlegel, P., Seal, M. C., & Lloyd, K. E. (2004). Bioavailability of zinc from zinc sulfate and different organic zinc sources and their effects on ruminal volatile fatty acid proportions. *Livestock Production Science*, 90(2), 211-217.
- Spears, J.W., Harvey, R.W., & Brown Jr. T. (1991). Effects of zinc methionine and zinc oxide on performance, blood characteristics and antibody titer response to viral vaccination in stressed feeder calves. *Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 199, 1731-1733.
- Steen, A., Strøm, T., & Bernhoft, A. (2008). Organic selenium supplementation increased selenium concentrations in ewe and newborn lamb blood and in slaughter lamb meat compared to inorganic selenium supplementation. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50(1), 1-6.
- Stewart, W. C, G. Bobe, G. J. Pirelli, W. D. Mosher, & J. A. Hall. (2012a). Organic and inorganic selenium: III. Ewe and progeny performance. *Journal of Animal Science*, 90,4536-4543.
- Stewart, W. C., Bobe, G., Vorachek, W. R., Stang, B. V., Pirelli, G. J., Mosher, W. D., & Hall, J. A. (2013). Organic and inorganic selenium: IV. Passive transfer of immunoglobulin from ewe to lamb. *Journal of Animal Science*, 91(4), 1791-1800.

- Stewart, W. C., Bobe, W. R., Voracheck, G. J., Pirelli, W. D., Mosher, T., Nichols, R. J., Van Saun, N. E., Forsberg, J., & Hall J. A. (2012b). Organic and inorganic selenium: II. Transfer efficiencies from ewes to lambs. *Journal of Animal Science*, 90, 577–584.
- Tiwar, A. K., Stegelmeier, B. L., Panter, K. E., James, L. F., & Hall, J. O. (2006). Comparative toxicosis of sodium selenite and selenomethionine in lambs. *Journal of Veterinary diagnostic investigation*, 18(1), 61-70.
- Uchida, K., Mandebvu, P., Ballard, C. S., Sniffen, C. J., & Carter, M. P. (2001). Effect of feeding a combination of zinc, manganese and copper amino acid complexes, and cobalt glucoheptonate on performance of early lactation high producing dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 93(3), 193-203.
- Vázquez-Añón, M., Peters, T., Hampton, T., McGrath, J., & Huedepohl, B. (2007). Case study: Supplementation of chelated forms of zinc, copper, and manganese to feedlot cattle with access to drinking water with high sulfate concentration. *The Professional Animal Scientist*, 23(1), 58-63.
- Vignola, G., Lambertini, L., Mazzone, G., Giammarco, M., Tassinari, M., Martelli, G., & Bertin, G. (2009). Effects of selenium source and level of supplementation on the performance and meat quality of lambs. *Meat Science*, 81(4), 678-685.
- Wang, C., Liu, Q., Yang, W. Z., Dong, Q., Yang, X. M., He, D. C., & Huang, Y. X. (2009). Effects of selenium yeast on rumen fermentation, lactation performance and feed digestibilities in lactating dairy cows. *Livestock Science*, 126(1), 239-244.
- Weiss, W. P. (2005). Selenium sources for dairy cattle. In: Proc. Tri-State Dairy Nutrition Conference., Ft. Wayne, The Ohio State University of Columbus, 61–72.
- Weiss, W. P., & Hogan, J. S. (2005). Effect of selenium source on selenium status, neutrophil function, and response to intramammary endotoxin challenge of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 88(12), 4366-4374.

3 DIAGNÓSTICO MINERAL DE GANADO BOVINO PARA CARNE EN AGOSTADEROS EN INDÉ, DURANGO

MINERAL DIAGNOSTIC OF BEEF CATTLE IN RANGELANDS FROM INDE, DURANGO

3.1 RESUMEN

El objetivo fue determinar el perfil mineral de bovinos en agostaderos a través del muestreo de suelo, agua, forraje y suero sanguíneo de vacas y becerros, en la estación de seca y lluvias, en cinco ranchos dedicados a la producción de becerro en el norte de Durango, México. Se determinaron las concentraciones de P, Ca, Mg, Cu, Zn y Fe. El modelo estadístico para analizar las concentraciones minerales en suelo, agua, y forraje incluyó los factores rancho, época y su interacción, mientras que para suero incluyó rancho, época, edad del animal y sus interacciones dobles o triples. Las concentraciones de minerales extraíbles en los suelos fueron adecuadas para las plantas; el pH fue ligeramente alcalino (7.4). El forraje tuvo concentraciones deficientes en Zn, Cu y P; altas en potasio y calcio; y adecuadas en Fe y Mg. El agua de bebida tuvo concentraciones de Fe arriba del máximo tolerable en los Ranchos 3, 4 y 5. El resto de los minerales se encontró en cantidades normales. Las concentraciones de Cu, P y Zn en suero sanguíneo fueron deficientes en 73, 52 y 43% de los bovinos, respectivamente. Las deficiencias de P y Zn fueron más severas ($p < 0.05$) en vacas que en becerros. Fe y K se reportaron en concentraciones excesivas en suero sanguíneo en 94 y 79% de los animales, respectivamente. Se recomienda complementar al ganado con Cu, P y Zn.

Palabras claves; suelo, agua, forraje suero sanguíneo, minerales.

3.2 ABSTRACT

The objective was to determine the mineral profile of grazing beef cattle through sampling of soil, water, forage, and blood serum of cows and their calves, in the dry and rainy seasons, in five cow-calf farms in northern Durango, México. Concentrations of P, Ca, Mg, Cu, Zn, and Fe were determined in all samples. Statistical model to analyze mineral concentrations in soil, water, and forage included the effects of season, farm, and their interaction. Meanwhile, model for blood serum considered the effects of season, farm, animal age, and their double and triple interactions. Mineral concentrations in soils were adequate for forage growth; pH was slightly alkaline (7.4). Forages were deficient in Zn, Cu, and P. They contained high levels of K and Ca; and were adequate in Fe and Mg. Drinking water had high concentration of Fe, above the maximum tolerable, in farms 3, 4 and 5, the rest of minerals in water were in adequate concentrations. Concentrations of Cu, P, and Zn in blood serum were deficient in 73, 52, and 43% of cattle, respectively. P and Zn deficiencies were more severe ($p < 0.05$) in cows than in calves. Fe and K were in excessive concentrations in blood serum, 94 and 79% of the animals, respectively. It is recommended to supplement cattle with Cu, P, and Zn.

Key words: soil, water, forage, blood serum, minerals.

3.4 INTRODUCCIÓN

La nutrición adecuada de los bovinos depende de los nutrimentos en forraje, agua, suelo y complementos, por lo que es necesario conocer el estado mineral del ganado que permita implementar medidas para la corrección de las deficiencias minerales en condiciones específicas, ya que las deficiencias y toxicidades minerales en animales en pastoreo pueden ser predichas mediante un estudio sistemático de mapeo o por el reconocimiento regional (McDowell & Arthington 2005). En general las deficiencias minerales más importantes son fósforo, sodio y cobre, el complemento mineral debe incluir además otros minerales que pudiesen ser deficientes (Huerta, 2010).

Diversos estudios demuestran que en México hay desbalances de minerales, limitando la productividad del ganado, principalmente deficiencias de calcio, fósforo, magnesio, sodio, cobre, zinc y selenio en ranchos ganaderos de diferentes estados del país (Arteaga, 2014; Cabrera *et al.*, 2009; Domínguez-Vara y Huerta-Bravo, 2008; Kawas *et al.*, 1996; Magadán, 2015; Morales *et al.*, 2007; Muñoz-González, 2016; Vieyra-Alberto *et al.*, 2012; Vivas *et al.*, 2011).

A pesar de la importancia de la nutrición mineral en la productividad de los sistemas de producción bovina, la información existente al respecto para las condiciones de la zona árida y semiárida en México es limitada. El presente estudio tiene como objetivo diagnosticar el nivel mineral en suelo, forraje, agua, y suero del binomio vaca-becerro en agostaderos en dos épocas del año en el municipio de Indé, Durango, para encontrar deficiencias o toxicidades que puedan ser una limitante a la productividad y estar causando problemas en este ambiente.

3.5 MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos se realizaron en octubre y enero, que corresponden a las épocas de lluvias y seca, en cinco ranchos ganaderos de la comunidad Cañón de Santa María en el municipio de Indé, Durango. En cada rancho se

recolectaron tres muestras de suelo, forraje y agua y diez de sangre de vacas y sus becerros. La cabecera municipal tiene como coordenadas 25° 54' 43" N, y 105° 13' 20" O, a una altura de 1,860 m. El clima es seco o estepario y se caracteriza por estaciones bien marcadas en términos de temperatura y lluvias (304 mm anuales), sin ser extremoso, las lluvias inician en junio y terminan a mediados de octubre (CNEM, 2014). La temperatura media es 17°C, máxima 39°C y mínima -6°C.

3.5.1 Colecta y procesamiento de muestras

Los ranchos fueron escogidos con base en la disponibilidad de los productores tomando en cuenta las características climáticas y fisiográficas de la región para tratar de cubrir los diferentes tipos de suelo de la comunidad Cañón de Santa María (Figura 1).

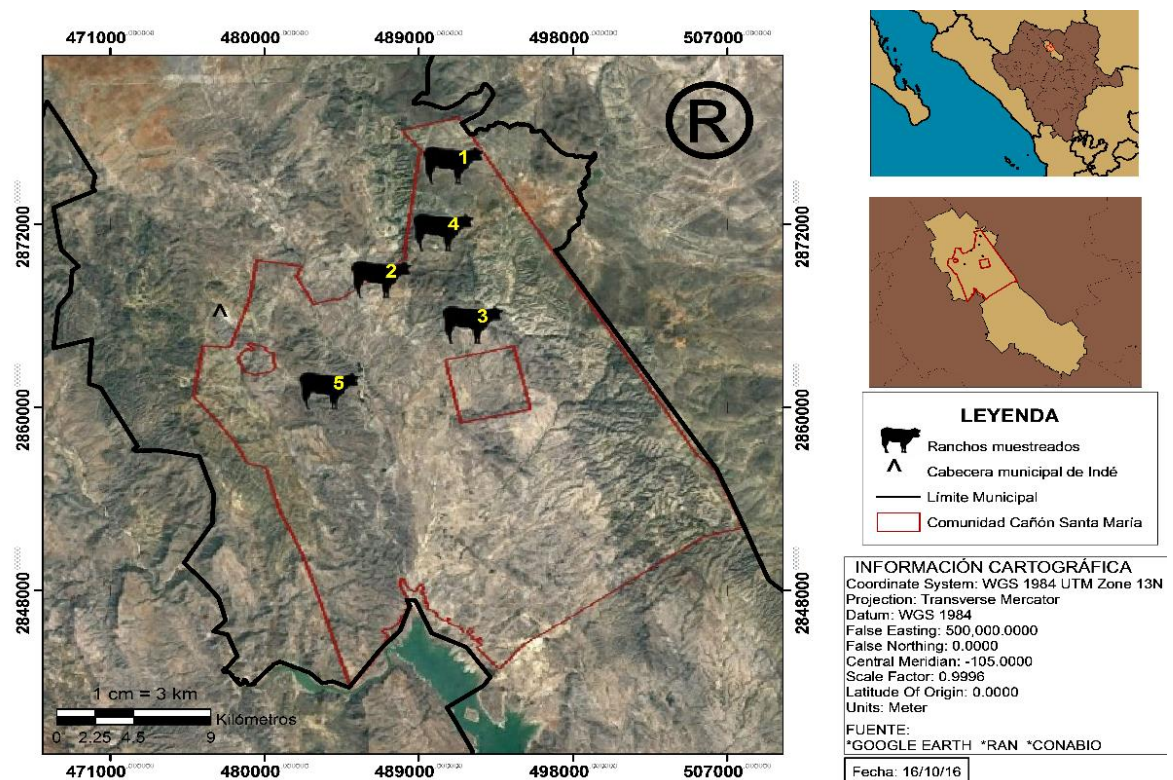


Figura 1. Localización de los ranchos muestreados

3.5.2 Suelo

Las muestras de suelo se obtuvieron en los puntos de muestreo del forraje. Se realizaron tres muestras compuestas de cada potrero, de los primeros 15 cm de profundidad, posteriormente fueron trasladadas al laboratorio del Departamento de Zootecnia, donde se secaron en estufa de aire forzado a 60 °C por 48 h. Posteriormente se molieron en mortero y se cernieron en una criba de 0.25 mm. Finalmente, las muestras fueron digeridas de acuerdo al manual de espectrofotometría de absorción atómica (Perkin-Elmer, 1996) para analizar hierro, calcio, magnesio, cobre y zinc por este método. Fósforo se analizó por colorimetría siguiendo la metodología de Fick, McDowell y Houser (1978) mediante un espectrofotómetro UV/VIS modelo Lambda 2 de Perkin-Elmer.

3.5.3 Agua

De cada uno de los cinco ranchos se colectaron tres muestras de agua por rancho, directamente de los depósitos donde el animal la ingería. Se tomaron 15 muestras por época en botellas de 500 ml previamente identificadas, las cuales se mantuvieron congeladas hasta realizar el análisis. Las muestras fueron procesadas para la determinación de minerales mediante las técnicas establecidas por Franson (1992).

3.5.4 Forraje

El muestreo de pasto se realizó mediante el método de “hand plucking” (Le Du & Penning, 1982),. Las muestras de forraje se depositaron en bolsas de papel, se identificaron, y posteriormente fueron trasladadas al laboratorio del Departamento de Zootecnia, donde se secaron en estufa de aire forzado a 60 °C durante 48 h, posteriormente fueron molidas en un molino Wiley de aspas con una criba de acero de 1 mm de diámetro, de cada muestra se tomó 1 g de muestra para incinerar en una mufla (modelo, Felisa) a 500°C durante 12 h. Las cenizas resultantes se procesaron mediante el método de Fick *et al.* (1978).

3.5.5 Suero sanguíneo

La sangre se obtuvo de 10 vacas y 10 crías de los cinco ranchos en cada época del año. Siguiendo la metodología de Fick *et al.* (1978) se obtuvieron muestras de sangre de la vena coccígea o de la yugular por punción directa en tubos de ensaye al vacío, después se centrifugaron a 3,000 rpm para separar el suero y se congelaron a -20°C hasta su análisis.

3.5.6 Técnicas de determinación de minerales en laboratorio

Las concentraciones de macro minerales (excepto fósforo) y minerales traza se analizaron mediante la lectura en un espectrofotómetro de absorción atómica equipado con horno de grafito y generador de hidruros (AAAnalyst 700, Perkin Elmer) siguiendo las recomendaciones del fabricante (Perkin Elmer, 1996). La concentración de fósforo se determinó mediante la técnica de colorimetría de (Fick *et al.*, 1978) con un espectrofotómetro de UV/VIS modelo Lambda 2 de Perkin Elmer.

3.5.7 Modelo estadístico

Para las concentraciones de minerales en agua, suelo y forraje se utilizó un modelo estadístico para un diseño completamente al azar con arreglo factorial 5 x 2, donde los factores son rancho (cinco) y época (seca y lluvias). El modelo estadístico fue:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + eP_j + R^*eP_{ij} + E_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = es la concentración de cada mineral en agua, suelo y forraje. μ = media general de la población. R_i = efecto del i-ésimo rancho, $i = 1, 2, \dots, 5$. e_j = efecto de la j-ésima época del año, $j = 1$ (lluviosa) y 2 (seca). R^*e_{ij} = efecto de la interacción entre el i-ésimo rancho y la j-ésima época del año. E_{ijk} = efecto del

error aleatorio asociado con la k-ésima medición de la variable de respuesta en el i-ésimo rancho y j-ésima época. Se supuso $E_{ijk} \sim \text{NIID}(0, \sigma_e^2)$.

Los minerales en suero sanguíneo fueron analizados con un diseño complementario al azar con arreglo factorial $5 \times 2 \times 2$, donde los factores son rancho (cinco), época (seca y lluvias) y tipo de animal (vaca y becerro). EL modelo estadístico fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + e_j + K_k + (R \times e)_{ij} + (R \times K)_{ik} + (R \times e \times K)_{ijk} + E_{ijkl}$$

donde:

Y_{ijkl} = concentración de cada mineral en el suero sanguíneo. μ = media general de la población. Y_{ijk} = es la concentración de cada mineral en agua, suelo y forraje. μ = media general de la población. R_i = efecto del i-ésimo rancho, $i = 1, 2, \dots, 5$. e_j = efecto de la j-ésima época del año, $j = 1$ (lluviosa) y 2 (seca). K_k = efecto de la k-ésima edad del animal $K = 1$ (vaca), 2 (becerro). $R \times e_{ij}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo rancho y la j-ésima época del año. $R \times K_{ik}$ = efecto de la interacción entre el i-ésimo rancho y la k-ésima edad del animal. $R \times e \times K_{ijk}$ = efecto de la ijk-ésima interacción de edad del ganado por rancho por época del año. E_{ijk} = efecto del error aleatorio asociado con la k-ésima medición de la variable de respuesta en el i-ésimo rancho y j-ésima época. Se supuso $E_{ijk} \sim \text{NIID}(0, \sigma_e^2)$.

Los efectos de rancho, tipo de animal y época sobre la concentración de los minerales estudiados fueron evaluados por el procedimiento estadístico para modelos lineales (GLM) de SAS (SAS, 2011). Cuando procedió, la comparación múltiple de medias se realizó con la prueba Tukey.

3.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.6.1 Concentración mineral en suelo

El Cuadro 11 muestra los niveles de significancia para los efectos de rancho, época e interacción rancho por época para las concentraciones de Fe, Zn, Cu, Mg, K, Ca y P extraíbles, y pH del suelo. El efecto rancho fue significativo para todas las variables analizadas ($p<0.05$). La época del año solo lo fue ($p<0.05$) para hierro y fósforo. La interacción época por rancho fue significativa ($p<0.05$) para hierro, cobre, fósforo y pH del suelo.

Cuadro 11. Niveles de significancia de época, rancho y sus interacciones para las concentraciones de minerales en suelo de Indé, Durango.

Ítem	Fe	Zn	Cu	Mg	K	Ca	P	pH
Rancho	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Época	<0.05	0.23	0.06	0.11	0.25	0.20	<0.05	0.34
Época*Rancho	<0.05	0.43	<0.05	0.22	0.52	0.45	<0.05	<0.05

Fe: hierro. Zn: zinc. Cu: cobre. Mg: magnesio. K: potasio. Ca: calcio. P: fósforo.

En el Cuadro 12 se presentan las concentraciones de minerales extraíbles y el pH de los suelos en dos épocas del año.

Cuadro 12. Concentración mineral en suelos de cinco ranchos ganaderos en diferentes épocas del año en Indé, Durango.

diferentes épocas del año en maíz, Durango.								
Ítem	Concentración (mg kg ⁻¹)			Concentración (g kg ⁻¹)				pH
	Fe	Zn	Cu	Mg	K	Ca	P	
Rancho								
1	6,895 ^a	52 ^a	19 ^c	0.28 ^a	0.07 ^b	0.95 ^b	0.15 ^a	7.2 ^c
2	3,488 ^c	23 ^d	11 ^e	0.14 ^c	0.08 ^a	3.55 ^a	0.12 ^b	7.5 ^a
3	4,920 ^b	50 ^{ab}	25 ^b	0.19 ^b	0.08 ^a	2.08 ^a	0.08 ^c	7.0 ^d
4	5,267 ^b	32 ^c	15 ^d	0.16 ^{bc}	0.07 ^b	1.24 ^b	0.08 ^c	7.4 ^{ab}
5	4,821 ^b	45 ^b	28 ^a	0.17 ^b	0.04 ^c	1.40 ^b	0.07 ^d	7.3 ^{bc}
EEM ¹	147	2	0.47	0.016	0.021	0.111	0.003	0.36
Época del año								
Lluvias	5,254 ^a	39.4 ^a	20.15 ^a	0.21 ^a	0.08 ^a	1.84 ^a	0.08 ^a	7.32 ^a
Seca	4,904 ^b	42.1 ^a	19.66 ^a	0.18 ^a	0.08 ^a	1.85 ^a	0.13 ^b	7.17 ^a
EEM ¹	97.91	1.35	0.31	0.01	0.011	0.074	0.0002	0.21
NM ²	4.5	2	3	0.030	0.060	0.140	0.025	-

Fe: hierro. Zn: zinc. Cu: cobre. Mg: magnesio. K: potasio. Ca: calcio. P: fósforo.

^{abcde} Medias sin letra en común dentro de la misma columna de rancho son diferentes ($p \leq 0.05$).

^{ab} Medias sin letra en común en la misma columna dentro de época del año son diferentes ($p \leq 0.05$).

¹ EEM = Error estándar de las medias de tratamiento.

² NM = Concentraciones minerales mínimas para el crecimiento de las plantas (Bowen, 1966).

El efecto significativo de la interacción en la concentración de hierro extraíble del suelo puede deberse a que los Ranchos 1 y 4 presentaron concentraciones de 50 y 34% mayor ($p < 0.05$) en la época de lluvias con respecto la de seca, mientras que el resto de los ranchos las concentraciones fueron similares en ambas épocas. El suelo de todos los ranchos superó el nivel mínimo necesario de hierro para el desarrollo de los cultivos (Bowen, 1966). Los Ranchos 1 y 4 tienen suelos rojos, lo cual indica niveles altos de hierro. Los suelos aportan indirectamente la mayor fuente de Fe en la dieta diaria de los animales en pastoreo (Weiss, Pinos-Rodríguez, y Socha 2010).

Las concentraciones extraíbles de zinc en suelo fueron similares entre épocas, con diferencias ($p < 0.05$) entre ranchos. Las concentraciones de zinc en los suelos de los ranchos fueron adecuadas (promedio 40.4 mg kg^{-1}) cubriendo en todos ellos lo mínimo requerido por las plantas y estando cerca del promedio mundial de 64 mg kg^{-1} reportado por Kabata-Pendias, y Pendias (1992).

Las concentraciones de cobre difieren ($p < 0.05$) por rancho, pero no por época. La interacción de época por rancho es debido a que el Rancho 3 tuvo 38% más cobre en la época de lluvias que en la seca. Según Mortvedt (2000) las concentraciones de cobre en suelos varían de 2 a 200 ppm encontrando los ranchos muestreados dentro del rango.

Respecto a las concentraciones de magnesio difieren ($p < 0.05$) entre ranchos, sin presentar cambios entre época. Todos los ranchos tuvieron concentraciones superiores del nivel mínimo requerido por las plantas (Bowen, 1966) encontrando mayor concentración en el Rancho 1. según Barker y Pilbeam (2007) el exceso de magnesio suele encontrarse en suelos arcillosos.

De acuerdo con Castellanos, Uvalle, y Aguilar (2000) el nivel crítico de potasio en suelos debajo del cual puede limitar el desempeño vegetal es de 0.2 g kg^{-1} . Todas las concentraciones de potasio encontradas en los ranchos muestreados fueron diferentes ($p < 0.05$), entre ranchos y similares entre épocas. Sin sobrepasar el nivel crítico para las plantas de este mineral. Según Barker y Pibeam (2007) las altas concentraciones de potasio en el suelo se deben a que son jóvenes y de origen volcánico, como los suelos muestreados en este diagnóstico.

La concentración de calcio en suelo estuvo influenciada por rancho ($p < 0.05$), encontrando las menores concentraciones en los Ranchos 1, 4 y 5. Sin embargo, todos los ranchos tienen concentraciones adecuadas para el crecimiento de las plantas. Estos resultados no concuerdan con los observados por Armienta (1995) al examinar suelos del estado de Coahuila encontró suelos hasta con 11.12 g kg^{-1} de calcio.

Las concentraciones de fósforo extraíble del suelo fueron mayores en lluvias que en secas. Alrededor de 8% de las muestras estuvieron por debajo de las concentraciones mínimas para el crecimiento de las plantas (Bowen, 1966). Sin embargo, el pH es ligeramente alcalino, lo cual puede limitar la solubilidad y disponibilidad en la planta de este mineral.

El pH promedio encontrado en esta investigación fue moderadamente alcalino (7.4) lo cual limita la absorción de minerales principalmente de hierro, cobre y zinc (Castellanos *et al.*, 2000). Hopkins y Ellsworth (2005) afirman que a un pH de 6.5 se logra la máxima disponibilidad de fósforo por las plantas, y disminuye la absorción cuando se incrementa o se reduce el pH. Los resultados encontrados concuerdan con los obtenidos por Serrato, Valencia, y Del Rio (1999), quienes estudiaron los suelos de la zona norte de Durango y reportaron niveles de pH alcalinos.

3.6.2 Concentración mineral en forraje

El Cuadro 13 muestra las probabilidades de rancho, época e interacción rancho por época para las concentraciones de Fe, Zn, Cu, Mg, K, Ca y P extraíbles y relación Ca:P. El efecto de rancho, tuvo diferencia en todos los minerales y en la relación Ca:P ($p < 0.05$). La época del año afectó ($p < 0.05$) los niveles de todos los minerales excepto magnesio. La interacción época por rancho fue significativa ($p < 0.05$) en las concentraciones de todos los minerales del forraje.

Cuadro 13. Niveles de significancia de época, rancho y su interacción para las concentraciones de minerales en forraje de Indé, Durango.

Ítem	Fe	Zn	Cu	Mg	K	Ca	P	Ca:P
Rancho	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Época	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Época*Rancho	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

Fe: hierro. Zn: zinc. Cu: cobre. Mg: magnesio. K: potasio. Ca: calcio. P: fósforo. Ca:P: relación calcio fósforo.

En el Cuadro 14 se presentan las concentraciones de minerales y la relación Ca:P en los forrajes en diferentes épocas del año.

Cuadro 14. Concentración mineral en el forraje de cinco ranchos ganaderos en diferentes épocas del año en Indé, Durango.

Ítem	Concentración (mg kg ⁻¹ MS)			Concentración (g kg ⁻¹ MS)				Ca:P
	Fe	Zn	Cu	Mg	K	Ca	P	
Rancho								
1	155 ^b	30.8 ^c	10.7 ^a	2.8 ^b	24.7 ^b	12.6 ^c	1.8 ^d	7.7 ^c
2	136 ^b	41.2 ^a	10.0 ^a	3.2 ^a	30.8 ^a	15.0 ^b	2.6 ^a	5.6 ^d
3	137 ^b	33.6 ^b	8.8 ^b	2.4 ^c	29.9 ^a	19.4 ^a	1.9 ^c	10.1 ^b
4	213 ^a	29.5 ^c	9.1 ^b	2.8 ^b	24.6 ^b	12.7 ^{bc}	2.4 ^b	5.2 ^e
5	153 ^b	29.4 ^c	9.9 ^{ab}	3.4 ^a	21.3 ^c	18.1 ^a	1.5 ^e	12.1 ^a
EEM ¹	9.6	1.38	0.29	0.10	0.87	0.79	0.64	0.43
Época del año								
Lluvias	251.4 ^a	35 ^a	8.8 ^b	2.9 ^a	25.7 ^b	14.8 ^b	2.1 ^a	7.3 ^b
Seca	65.88 ^b	30 ^b	10.5 ^a	2.8 ^a	30.9 ^a	16.4 ^a	2.0 ^b	8.9 ^a
EEM ¹	6.1	0.88	0.19	0.063	0.08	0.01	0.03	0.54
NMT ²	500	500	40	6	30	15	7	8
RMB ³	30	30	10	2	8	3	2.5	2

Fe: hierro. Zn: zinc. Cu: cobre. Mg: magnesio. K: potasio. Ca: calcio. P: fósforo. Ca:P: relación calcio fósforo.

^{abcde}, Medias sin letra en común en la misma columna dentro de rancho son diferentes ($p \leq 0.05$).

^{ab} Medias sin letra en común en la misma columna dentro de época del año son diferentes ($p \leq 0.05$).

¹ EEM = error estándar de las medias de tratamiento.

² NM = nivel máximo tolerable de mineral en la dieta.

³ RMB = nivel mínimo para cubrir los requerimientos del ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005).

Las concentraciones de hierro en el forraje fueron superiores al nivel mínimo para cubrir los requerimientos del ganado bovino. Las diferencias fueron muy marcadas entre épocas de contenido de hierro en todos los ranchos teniendo. Las concentraciones fueron hasta 300% mayor en lluvias respecto a la época de seca. Sin embargo, todos los ranchos se encontraron dentro del rango para bovinos. Esto pudo deberse a cantidades altas de Fe en el suelo, lo que permitió que las plantas forrajeras presentes acumularan más Fe que el requerido por los bovinos (Kabata-Pendias, 2011). Los forrajes altos en hierro

pueden afectar la absorción de cobre por el animal (McDowell y Arthington, 2005). En México otros autores han encontrado mayor cantidad de hierro en forraje tropical en la época de seca (Muñoz-González, Huerta-Bravo, Rangel-Santos, Lara-Bueno, y De la Rosa-Arana 2014) quienes reportaron concentraciones de 298 mg kg^{-1} en época de seca y 253 mg kg^{-1} en época de lluvias. Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) reportaron concentraciones de Fe en forrajes durante la época de lluvias de 258 mg kg^{-1} y durante la época de seca 761 mg kg^{-1} . Por otro lado, Vieyra-Alberto *et al.* (2013) reportaron contenidos de hierro en el forraje de 114 y 149 mg kg^{-1} para lluvias y secas, respectivamente.

Las concentraciones de zinc, a pesar que en el suelo fueron superiores al mínimo requerido por las plantas, estuvieron por debajo del nivel mínimo para cubrir los requerimientos del ganado en los Ranchos 4 y 5, particularmente en la época seca. Esta baja concentración de zinc puede deberse a que los suelos que presentan alto contenido de magnesio pueden dar lugar a deficiencias de zinc en las plantas (Alloway, 2008).

Las concentraciones de cobre estuvieron por debajo del nivel mínimo para cubrir los requerimientos del ganado en los Ranchos 3, 4 y 5. Al contrario de zinc, el cobre es más limitante en la época de lluvias. Diversos autores señalan que los excesos de molibdeno, azufre y hierro interfieren con la absorción del cobre (Dias *et al.*, 2013; Suttle, 2010).

De acuerdo con los requerimientos mínimos para rumiantes de McDowell y Arthington (2005), en ninguno de los ranchos evaluados hubo concentraciones deficientes de magnesio y potasio en los forrajes, encontrando la mayor concentración en la época de seca. En 42% las muestras de forrajes tuvieron concentraciones superiores de potasio a los requerimientos del ganado. El nivel de potasio en la época de seca de los Ranchos 1, 2, 3 y 5, excede el nivel máximo tolerable, en los Ranchos 2 y 4 en lluvias, estos niveles se pueden justificar por lo reportado en el estudio de Moya, Ramírez, Foroughbachkch, Hauad, y González (2002) quienes diagnosticaron que la mayoría de plantas

arbustivas que crecen en las regiones semiáridas del sur de Texas y noreste de México contienen niveles de potasio que sobrepasan en mucho los requerimientos de rumiantes.

Las concentraciones de calcio de los forrajes de los Ranchos 3 y 5 exceden el máximo tolerable de este elemento (McDowell y Arthington, 2005), Particularmente en la época seca, Greene *et al.* (1987) reportaron que las concentraciones de calcio en gramíneas son mayores en tejido vivo que en material muerto. Según Huerta (2003) la deficiencia de calcio en rumiantes pastoreando gramíneas es rara y nunca ocurre con leguminosas.

Las concentraciones de fósforo están por debajo de los requerimientos de los animales en los Ranchos 1, 3, 4 y 5, en ambas épocas, el fósforo puede considerarse el mineral más deficiente en esta región. Se ha observado que el fósforo es extremadamente móvil y se mueve de los tejidos viejos a los nuevos provocando una disminución en la concentración de este mineral (Gomide & Zometa 1976). Los resultados de calcio y fósforo se pueden deber a que cuando se recolectó el forraje en época de lluvias estuvo en su mayoría en etapa de maduración.

Con respecto a la relación Ca:P está excedida en los Ranchos 3 y 5 llegando hasta 12:1 debido principalmente a los altos niveles de calcio encontrados en el forraje en la época de seca. Al respecto, Huerta (1999) señala que si el requisito de fósforo es cubierto, una relación Ca:P superior a 2:1 puede ser tolerada por el animal hasta un máximo de 8:1.

El efecto de la interacción de rancho por época en México se ha reportado en varios estudios en el perfil mineral de los forrajes. Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) reportaron esta interacción para cobre, zinc, magnesio, sodio, y fósforo en forrajes de clima templado. Por su parte, Morales *et al.* (2007), en forrajes de clima templado analizando hierro, zinc y fósforo observaron efecto de rancho por época del año; y similarmente Muñoz-González *et al.* (2014) en

forrajes del trópico húmedo mexicano para cobre, hierro, zinc, calcio, magnesio, sodio, potasio y fósforo.

Plantas que crecen en un mismo suelo se les han observado grandes variaciones de minerales, herbáceas y leguminosas son más ricas en algunos minerales en comparación a las gramíneas. El contenido en la mayoría de las circunstancias, el fósforo, potasio, magnesio, sodio, cloro, cobalto, cobre, hierro, selenio, zinc y molibdeno disminuyen con la madurez de la planta debido a un proceso natural de dilución, y al traslado de nutrientes a la raíz. El clima, el manejo de forrajes y varios autores más afectan la composición mineral de la planta. La presión de pastoreo influye radicalmente sobre la especie forrajera predominante de alimento y cambiará la relación hoja/tallo, teniendo como resultado que el contenido mineral de la planta también sería afectado (McDowell, Conrad, y Ellis 1984).

3.6.3 Concentración mineral en agua de bebida

El Cuadro 15 muestra los niveles de significancia para los efectos de rancho, época e interacción época por rancho para las concentraciones de Fe, Zn, Cu, Mg, Ca y P. El efecto de rancho, fue significativo ($p < 0.05$) para todos los minerales excepto zinc. La época del año solo fue ($p < 0.05$) para hierro, zinc, calcio y fósforo. La interacción época por rancho fue significativa ($p < 0.05$) para la mayoría de los minerales excepto para cobre en el agua de bebida.

Cuadro 15. Niveles de significancia de época, rancho y sus interacciones para las concentraciones de minerales en agua de Indé, Durango.

Ítem	Fe	Zn	Cu	Mg	Ca	P
Rancho	<0.05	0.36	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Época	<0.05	<0.05	0.84	0.90	<0.05	<0.05
Época*Rancho	<0.05	<0.05	0.4	<0.05	<0.05	<0.05

Fe: hierro. Zn: zinc. Cu: cobre. Mg: magnesio. Ca: calcio. P: fósforo.

El Cuadro 16 presenta las concentraciones de minerales en el agua para bebida en dos diferentes épocas del año.

Cuadro 16. Concentración mineral del agua de bebida para ganado de cinco ranchos en diferentes épocas del año en Indé, Durango.

Ítem	Concentración (mg L ⁻¹)					
	Fe	Zn	Cu	Mg	Ca	P
Rancho						
1	0.04 ^b	0.06 ^a	0.05 ^c	6.92 ^b	16.1 ^d	0.04 ^c
2	0.11 ^b	0.07 ^a	0.06 ^{bc}	6.18 ^c	33.5 ^a	0.03 ^d
3	0.31 ^a	0.07 ^a	0.07 ^b	6.56 ^{bc}	19.8 ^c	0.05 ^b
4	0.50 ^a	0.06 ^a	0.09 ^a	8.32 ^a	13.8 ^e	0.08 ^a
5	0.53 ^a	0.07 ^a	0.03 ^d	4.74 ^d	23.5 ^b	0.05 ^b
EEM ¹	0.027	0.004	0.004	0.16	0.37	0.001
Época del año						
Lluvias	0.33 ^a	0.08 ^a	0.058 ^a	6.6 ^a	14.7 ^b	0.055 ^a
Seca	0.08 ^b	0.06 ^b	0.059 ^a	6.5 ^b	27.9 ^a	0.051 ^b
EEM ¹	0.02	0.003	0.001	0.01	0.001	0.001
NMT ²	<0.3	<8	<1	<1000	<1000	<0.7

Fe: hierro. Zn: zinc. Cu: cobre. Mg: magnesio. Ca: calcio. P: fósforo.

^{abcde}, Medias sin letra en común en la misma columna dentro de rancho son diferentes ($p \leq 0.05$).

^{ab} Medias sin letra en común en la misma columna dentro de época del año son diferentes ($p \leq 0.05$).

¹ EEM = error estándar de la media.

² NMT = nivel máximo tolerable de mineral en la dieta (Puls, 1994)

Las concentraciones de zinc, cobre, magnesio, calcio y fósforo en el agua de bebida se reportaron en niveles adecuados en las distintas épocas y ranchos, sin llegar al nivel máximo tolerable (Puls, 1994; NRC, 2005). Sin embargo, el nivel de hierro en los Ranchos 3, 4 y 5, así como en la época de lluvias, fueron mayores ($p < 0.05$) al nivel máximo tolerable en el agua de bebida.

De acuerdo con Muñoz-González (2016), las diferencias de las concentraciones de Fe, Cu, Mg, Ca y P entre ranchos puede deberse a que las fuentes de agua de bebida varían entre ranchos. Lo anterior coincide con Socha, Tomilson, y DeFrain (2009) quienes concluyeron que el contenido mineral en el agua varía ampliamente a través del territorio donde se realice el muestreo, dentro de una región geográfica específica.

Las concentraciones menores de minerales se observaron en los Ranchos 1 y 2, en donde se utiliza agua de pozo durante todo el año. En cuanto a las interacciones de época por rancho, hubo diferencias ($p < 0.05$) en Fe, Zn, Mg, Ca y P, debido a que se encontraron mayores niveles de mineral en la época de lluvias, contrario a lo encontrado por Magadán (2015); Muñoz-González (2016); Ramos (2009); Vieyra-Alberto *et al.* (2013), quienes reportaron mayor concentración de minerales en el agua en la época de seca; dicha diferencia puede ser probablemente adjudicada a que en lluvias las vacas beben agua directamente de los jagüeyes, mientras que en secas el agua se extrae de pozos.

En el caso de hierro, la interacción de época por rancho puede deberse a que en el Rancho 3, 4 y 5 los niveles de este mineral fueron mayores para la época de lluvias, debido a que el agua se ofrece al ganado directamente del jagüey mientras que en los Ranchos 1 y 2 las mayores concentraciones de este mineral se reportaron en la época de seca, en los cuales las vacas beben agua de pozos.

3.6.4 Concentración mineral en suero sanguíneo

El Cuadro 17 muestra los niveles de significancia para los efectos principales y sus interacciones para las concentraciones de Fe, Zn, Cu, Mg, K, Ca y P y para la relación Ca:P del suero sanguíneo de bovinos. El efecto de rancho, fue significativo para todos los minerales y la relación Ca:P excepto hierro que no fue diferente ($p < 0.05$). La época del año afectó ($p < 0.05$) los niveles de hierro, zinc, cobre, potasio y calcio. La interacción época por rancho fue significativo ($p < 0.05$) para las concentraciones de hierro, cobre y fósforo. La interacción época por edad influyó ($p < 0.05$) el nivel de calcio. La interacción rancho por edad fue significativo ($p < 0.05$) en los niveles de zinc y potasio. La triple interacción época por edad por rancho ($p < 0.05$) afectó los niveles de cobre.

Cuadro 17. Niveles de significancia de época, rancho, tipo de animal y sus interacciones dobles y triples para las concentraciones de minerales en suero sanguíneo de bovinos Indé, Durango.

Ítem	Fe	Zn	Cu	Mg	K	Ca	P	Ca:P
Rancho	0.31	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Época	<0.05	<0.05	<0.05	0.20	<0.05	<0.05	0.73	0.81
Edad	0.09	<0.05	<0.05	0.07	0.16	0.46	<0.05	<0.05
Época*Rancho	<0.05	0.51	<0.05	0.14	0.30	0.17	<0.05	0.79
Época*Edad	0.10	0.85	0.84	0.65	0.30	<0.05	0.08	0.07
Rancho*Edad	0.33	<0.05	0.73	0.12	<0.05	0.07	0.43	0.73
Época*Edad*Rancho	0.50	0.08	<0.05	0.18	0.50	0.07	0.78	0.98

Fe: hierro. Zn: zinc. Cu: cobre. Mg: magnesio. K: potasio. Ca: calcio. P: fósforo. Ca:P: relación calcio fósforo.

El estatus mineral en suero sanguíneo de los animales estuvo regulado por la disponibilidad de cada elemento mineral en el agua y en el forraje y por diferencias en la absorción y movilización de los minerales por los pastos a

través de las épocas del año (Whitehead, 2000), también estuvo limitado por una escasa complementación mineral. Los niveles de minerales encontrados en los bovinos en la zona se presentan en el Cuadro 12.

En el Cuadro 18 se presentan las concentraciones de minerales y la relación Ca:P del suero sanguíneo en dos épocas del año.

Cuadro 18. Concentración mineral en suero sanguíneo de bovinos en agostadero en diferentes épocas del año en Indé, Durango.

Ítem	Concentración (mg L ⁻¹)							Ca:P
	Fe	Zn	Cu	Mg	K	Ca	P	
Rancho								
1	5.4 ^a	0.83 ^b	0.63 ^b	28.8 ^a	270 ^b	79 ^b	45 ^b	2.1 ^a
2	5.4 ^a	0.81 ^b	0.75 ^a	27.6 ^{ab}	287 ^b	78 ^b	44 ^b	1.7 ^b
3	6.0 ^a	0.95 ^a	0.74 ^a	28.1 ^a	369 ^a	85 ^a	43 ^b	2.7 ^a
4	5.6 ^a	0.78 ^b	0.76 ^a	25.2 ^b	319 ^b	82 ^a	48 ^b	2.2 ^a
5	5.9 ^a	0.91 ^{ab}	0.68 ^{ab}	31.3 ^a	291 ^b	80 ^b	58 ^a	1.6 ^b
EEM ¹	0.2	0.03	0.08	1.14	17.5	2.38	2.7	0.44
Época del año								
Lluvias	6.2 ^a	0.9 ^a	0.8 ^a	28.9 ^a	282 ^b	92.0 ^a	47.4 ^a	2.0 ^a
Seca	5.1 ^b	0.8 ^b	0.6 ^b	27.4 ^a	339 ^a	78.9 ^b	48.3 ^a	2.1 ^a
EEM ¹	0.17	0.01	0.01	0.9	10.5	1.5	1.68	0.37
Tipo de animal								
Vaca	5.47 ^a	0.79 ^b	0.73 ^a	29 ^a	298 ^a	79.2 ^a	37.2 ^b	2.6 ^a
Becerro	5.91 ^a	0.91 ^a	0.68 ^b	27.3 ^a	323 ^a	78.1 ^a	58.2 ^a	1.5 ^b
EEM ¹	0.17	0.02	0.18	0.8	10.1	1.74	2.02	0.36
NA ²	1.3-2.5	0.8-1.4	0.8-1.5	18-35	160-200	80-100	40-60 ³ 60-90 ⁴	1-2

Fe: hierro. Zn: zinc. Cu: cobre. Mg: magnesio. K: potasio. Ca: calcio. P: fósforo. Ca:P: relación calcio fósforo.

^{abc} Medias sin letra en común en la misma columna dentro de rancho son diferentes ($p \leq 0.05$).

^{ab} Medias sin letra en común en la misma columna dentro de época del año son diferentes ($p \leq 0.05$).

^{ab} Medias sin letra en común en la misma columna dentro de época del año son diferentes ($p \leq 0.05$).

¹ EEM = error estándar de la media.

² NA = nivel adecuado (Puls, 1994);

³ Animales adultos. ⁴ Animales jóvenes.

Las concentraciones de hierro en suero sanguíneo son similares entre ranchos y animales, encontrando mayores ($p<0.05$) concentraciones en la época de lluvia en relación a la de seca. Las concentraciones de hierro sobrepasan el nivel adecuado en el 94% de los animales (media de 5.64 mg kg^{-1}). Según Armienta (1995) la disponibilidad de hierro es menor en suelos alcalinos, mismos que favorecen la formación de hidróxidos de hierro, inmovilizando a este elemento, generando síntomas de deficiencia en la planta, aún en presencia de elevadas concentraciones totales de hierro. Otro factor que influye a las altas concentraciones de hierro en suero es la presencia de hemolisis, causando liberación de fósforo, hierro y potasio, probablemente adjudicado a las deficiencias de cobre y zinc (Yim, Chock, y Stadtman 1990; Kincaid, 2000).

Las concentraciones de zinc fueron diferentes ($p<0.05$) entre ranchos, edades y épocas, siendo deficientes en 43% de los animales presentando deficiencia, fue más marcada en el Rancho 4 principalmente en la época seca. La mayor cantidad de zinc en animales jóvenes puede explicarse por lo determinado por el ARC (1980) quién reporta que en pequeños rumiantes los animales alimentados con leche tienen mayor capacidad para absorber zinc.

La concentración de hierro, cobre, zinc y calcio en el contenido sérico fueron mayores en la época de lluvias, mientras que la de potasio fueron mayores en secas, y el magnesio y fósforo no difieren ($p<0.05$) entre época. Según McDowell *et al.* (1984) estas variaciones se deben a que el contenido mineral disminuye con la madurez de la planta debido a dilución y traslado de nutrientes a la raíz para su preservación.

En general, 79% de los animales tuvieron concentraciones de potasio altas, esto se puede adjudicar a que los animales en agostaderos consumen en época de seca arbustos que por lo regular son ricos en este mineral, la cantidad de potasio mayor en las crías se puede deber a que los animales consumen leche y forrajes ricos en potasio y tienen mayor capacidad para absorber

nutrimentos. Las deficiencias de cobre y zinc causan daño oxidativo a la membrana celular y puede liberarse el potasio intracelular al fluido extracelular (Yim *et al.*, 1990; Kincaid, 2000).

Los becerros tuvieron mayor concentración ($p<0.05$) de zinc, potasio y fósforo, mientras que las concentraciones de hierro, cobre y calcio fueron similares ($p<0.05$) en ambos. Esto se puede adjudicar a que los animales adultos dependen en mayor medida de los minerales que aportan las fuentes de alimentación convencionales, mientras que las crías su principal fuente de alimentación es la leche, la cual es rica de minerales y además pueden consumir forrajes. La mayor concentración de fósforo en las crías se puede deber al consumo de leche ya que esta es rica en este mineral (NRC, 2001). Las interacciones de rancho por edad del animal fueron significativas solo para zinc y potasio, (Figuras 2 y 3).

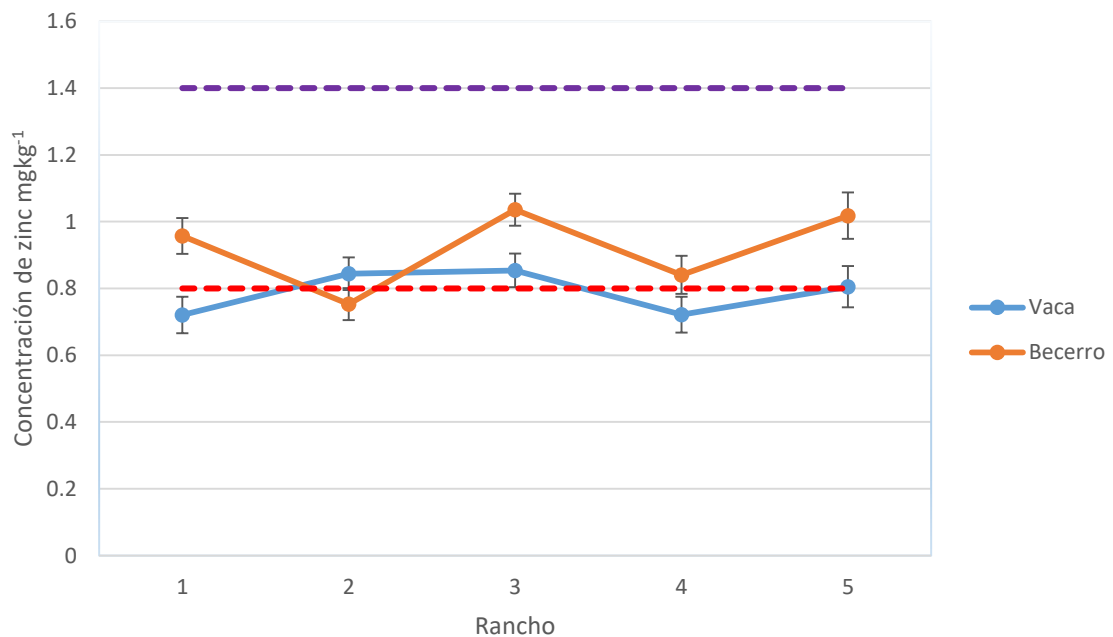


Figura 2. Interacción de rancho por edad en la concentración en suero sanguíneo de zinc.

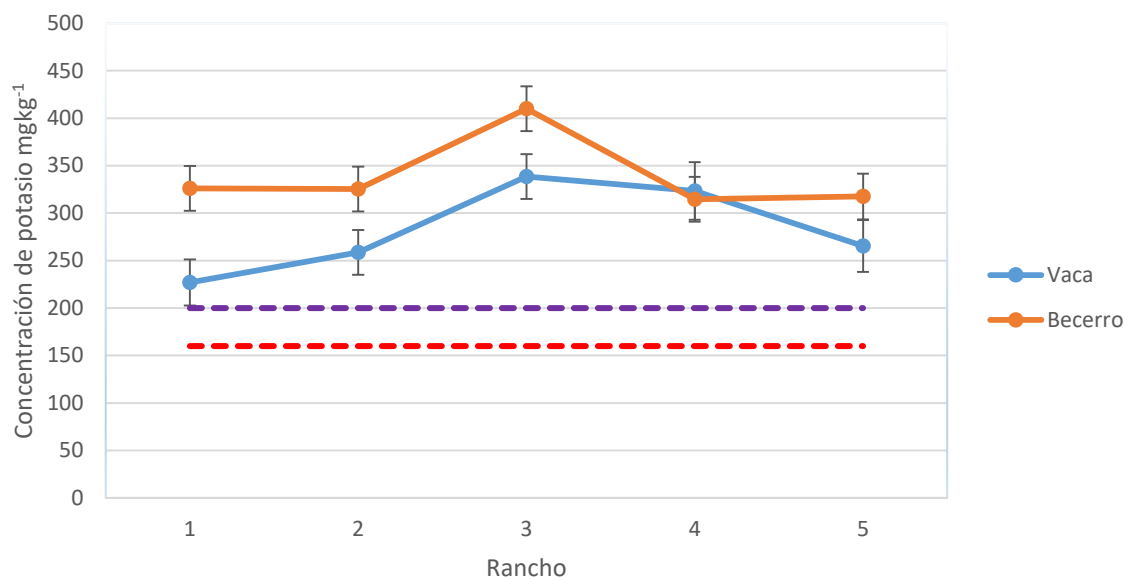


Figura 3. Interacción de rancho por edad en la concentración en suero sanguíneo de potasio.

Las interacciones son debido a la magnitud de las diferencias ($p < 0.05$) de concentraciones de zinc y potasio. Para el caso de zinc los becerros tuvieron mayores ($p < 0.05$) concentraciones séricas que las vacas en la mayoría de los ranchos con excepción del Rancho 2 el cual las vacas tuvieron mayor ($p < 0.05$) concentración. Los becerros tuvieron mayor ($p < 0.05$) concentración séricas de potasio, excepto en el Rancho 4 en donde fueron igual. Interacciones entre rancho y edad del animal han sido observadas en otros estudios, por ejemplo, Magadán, (2016) reportó interacción significativa ($p < 0.01$) de rancho por animal para calcio, fósforo, magnesio, potasio, cobre, zinc y hierro en la costa sur de Jalisco. En otro estudio, Muñoz-González (2016) determinó el efecto de la interacción en las concentraciones de sodio y fósforo. Vieyra-Alberto *et al.* (2013) reportaron efecto de la interacción en el contenido de calcio en suero sanguíneo.

Las diferencias de concentración de minerales entre ranchos, excepto en hierro y fósforo, se adjudican a que los ranchos tienen características diferentes. En cada rancho hubo niveles distintos de minerales en suelo, agua y forraje.

Kumaresan, Bujarbaruah, Pathak, Brajendra, y Ramesh (2010) reportaron variaciones en los contenidos de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na y K en suero sanguíneo de vacas en diferentes áreas de muestreo dentro de una región. En los ranchos muestreados no se complementa con minerales.

3.7 CONCLUSIONES

Las concentraciones minerales en los suelos de Indé, Durango fueron adecuadas, cubren el mínimo necesario para el desarrollo de las plantas, tanto en la época seca como en lluvias. El pH fue ligeramente alcalino (7.4). El agua de bebida tuvo concentraciones de hierro por arriba del máximo tolerable en los Ranchos 3, 4 y 5, mientras que el resto de los minerales se encontró en cantidades normales. El forraje tuvo concentraciones deficientes en zinc, cobre y fósforo; altas en potasio y calcio; y adecuadas en hierro y magnesio. Las concentraciones de cobre, fósforo y zinc en suero sanguíneo fueron deficientes en 73, 52 y 43% de los bovinos, respectivamente. Las deficiencias de fósforo y zinc fueron más severas en vacas que en becerros. Para hierro y potasio las concentraciones fueron excesivas en suero sanguíneo en 94 y 79% de los animales. Se recomienda complementar al ganado con cobre, fósforo y zinc, y evitar complementar hierro y potasio.

3.9 LITERATURA CITADA

- Alloway B., J. (2008). Zinc in Soils and Crop Nutrition. (2nd ed.). International Zinc Association and International Fertilizer Industry Association. *Belgium and France*, 139 p.
- ARC (Agricultural Research Council). (1980). The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal, UK. pp. 184–185.
- Armienta T. G. (1995). Perfil mineral del suelo, forraje y tejidos del ganado en agostaderos del Estado de Nuevo León. (Tesis de Doctorado en Ciencias. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.). Consultada en <http://cd.dgb.uanl.mx/handle/201504211/15910>
- Arteaga C. V. 2014. Estado nutricional del ganado y acumulación de forraje en una unidad de producción de becerros. (Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.). 91 p.
- Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (2007). Handbook of Plant Nutrition. Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL. 613 p.
- Bowen, H. J. M. 1966. Trace Elements in Biochemistry. *Academic Press*. New York. pp, 118-184.
- Cabrera, T. E. J., Sosa R. E., Castellanos R. A. F., Gutiérrez B A. O, & Ramírez J. H. S. 2009. Comparación de la concentración mineral en forrajes y suelos de zonas ganaderas del estado de Quintana Roo, México. *Veterinaria México*, 40, 167-179.
- Castellanos, J. Z., J., Uvalle, X. B., & Aguilar, A. S. (2000). Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas Agrícolas, Plantas y ECP. (2^{da} ed.). *Colección INCADA*. México. 226 p.
- Centro Nacional de Estudios Municipales (CNEM), Secretaría de Gobernación, "Enciclopedia de los Municipios de México". Los Municipios de Durango, Talleres Gráficos de la Nación, México (en línea) 1988. (Fecha de consulta: 10 octubre de 2015) disponible en; <http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/EMM10durango/municipios/10011a.html>
- Dias, R. S., López, S. Y., Montanholi, R. B., Smith, L. S., Haas, S. P., Miller, E., & France J. (2013). A meta-analysis of the effects of dietary copper, molybdenum, and sulfur on plasma and liver copper, weight gain, and feed conversion in growing-finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 91, 5714-5723.
- Domínguez-Vara, I. A., & Huerta-Bravo, M. (2008). Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el Valle de Toluca, México. *Agrociencia*, 42, 173-183.

- Fick, K. R., McDowell L. R., & Houser R. H. (1978). Current status of mineral research in Latin America. In: Symposium on mineral nutrition research with grazing ruminant. University of Florida, Gainesville. pp: 149-162.
- Franson, M. A. H. (1992). Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Madrid España. 1816 p.
- Gomide, J. A., & Zometa, A. T. (1976). Composición mineral de los forrajes cultivados bajo condiciones tropicales. In McDowell, L. R.; Conrad, JH (eds.). Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo. Belo Horizonte, Brasil. Memorias de conferencia.
- Greene, L. W., W. E. Pinchak, & R. K. Heitschmidt. (1987). Seasonal dynamics of minerals of forages at the Texas Experimental Ranch. *Journal of Range Management*, 40, 502-506.
- Hopkins, B., & J. Ellsworth. (2005). Phosphorus availability with alkaline /calcareous soil. In: Western Nutrient Management Conference. Salt Lake City, UT. pp: 88-93.
- Huerta B., M. (1999). Respuesta a la corrección de deficiencias minerales sobre el comportamiento animal. In: Memoria del II Seminario Internacional Estrategias de Complementación a Bovinos en Pastoreo. 28 y 29 de octubre. Chapingo, México, pp: 154-172.
- Huerta B., M. (2003). Signos de deficiencia y respuestas a la complementación mineral del ganado en pastoreo. In: *Memoria del Curso Complementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas*. Agosto de 2003. Monterrey, Nuevo León. pp: 48-64.
- Huerta B., M. (2010). Alimentación y Complementación Mineral. In: Memorias del Primer Simposium de Salud y Producción de Bovinos de Carne en la Zona Norte-Centro de México. Aguascalientes. pp: 1-14.
- Kabata-Pendias. A. (2011). Trace Elements in Soil and Plants. (4th ed.). CRC Press. New York. USA. 505 p
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (1992). Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton, FL. *CRC Press*, 520 p.
- Kawas G. J. J. 1996. Determinación del perfil mineral de especies forrajeras de cuatro zonas geográficas del litoral de México. (Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.). 204 p.
- Kumaresan, A., Bujarbaruah, K. M., Pathak, K. A., Brajendra, I. & Ramesh, T., (2010). Soil-plant-animal continuum in relation to macro and micromineral status of dairy cattle in subtropical hill agro ecosystem, *Tropical Animal Health and Production*, 42, 569—577.
- Le Du, Y.L.P. & Penning, P.D., (1982). Animal based techniques for estimating herbage intake. *Herbage Intake Handbook, The British Grassland Society*.

- Magadán O., J. A. (2015). Diagnóstico mineral de bovinos en pastoreo en la costa sur de Jalisco. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- McDowell, L. R., & J. D. Arthington. (2005). Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. (4th ed.). Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 94 p.
- McDowell, L. R., Conrad, J. H., & Ellis, G. L. (1984). Mineral deficiencies and imbalances, and their diagnosis. *Herbivore nutrition in the subtropics and tropics*,/edited by FMC Gilchrist and RI Mackie.
- Morales, A. E., Domínguez, V. I., González-Ronquillo, M., Jaramillo, E. G., Castelán, O. O., Pescador, S. N. & Huerta, B. M., (2007). Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de vacas lecheras en dos épocas en el valle central de México, *Técnica Pecuaria México*, 45, 329--344
- Mortvedt, J., J. (2000). Bioavailability of micronutrients. *Handbook of Soil Science*. Boca Raton, FL. CRC Press. pp. D71–D88.
- Moya, R., Ramírez G., R. G., Foroughbachkch L., R., Hauad L. A., & González H. R. (2002). Variación estacional de minerales en las hojas de ocho especies arbustivas. *Ciencia UANL*, 1, 59-65.
- Muñoz-González J., C. (2016). Evaluación del sistema de producción de bovinos de doble propósito en Catazaja, Chiapas, México. (Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.).
- Muñoz-González, J. C., M. Huerta-Bravo, R. Rangel-Santos, A. Lara-Bueno, & J. L., De la Rosa-Arana. 2014. Mineral assessment of forage in Mexican humid tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17, 285-287.
- NRC (National Research Council). (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. (7th Ed.). *The National Academy Press*, Washington, USA)
- NRC (National Research Council). (2005). Mineral Tolerance of Animals. (2nd ed.). *National Academies Press*. Washington, D. C. USA. 496 p.
- Perkin Elmer. (1996). Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy. United States of America. 300 p.
- Puls R. (1994). Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic Data, Sherpa International, (Clearbrook, Canada)
- Ramos M. P. (2009). Diagnóstico del estado mineral de bovinos para carne pastoreando en la región huasteca alta (tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.).
- Santiago, V. M. A., & Gerardo, S. D. (1996). Estado mineral de ganado bovino y de zacates estrella y guinea en Tepetzintla, Veracruz. (Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.).
- SAS Institute Inc. (2011). SAS/STAT 9.3. User's Guide. Cary, N. C., USA. 8621 p.

- Shabala, S. 2012. Plant Stress Physiology. CAB International. London, U. K. 318 p.
- Serrato, S. R., Valencia, C. C. M., & Del Rio, O. F. (1999). Interrelaciones entre variables del suelo y de las gramíneas en el pastizal semiárido del norte de Durango. *Tierra*, 17(1), 27-34
- Socha, M. T., Ensley, S. M., Tomlinson, D. J., & Johnson, A. B. (2003, January). Variability of water composition and potential impact on animal performance. In *Proceedings from the Intermountain Nutrition Conference, Salt Lake City, UT* (pp. 85-96).
- Suttle N., F. (2010). Mineral Nutrition of Livestock. (4th Ed.). CABI Publishing. United Kingdom. 587 p. 82
- Vieyra-Alberto, R. I., Domínguez-Vara, A. G. Olmos-Oropeza, J. F. Martínez-Montoya, J. L. Borquez-Gastelum, J. Palacio-Núñez, J. A. Lugo de la Fuente, & E. Morales-Almaráz. (2013). Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la Huasteca Potosina, México. *Agrociencia*, 47, 121-133.
- Vivas, M. E. F., Rosado, R. J. G., Castellanos, A. F. R., Herrera M. A., & Cabrera-Torres. E. J. 2011. Contenido mineral en forrajes en predios de ovinocultores del Estado de Yucatán. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2(4), 465-475.
- Weiss, W. P., J. M. Pinos-Rodriguez, & M. T. Socha. (2010). Effects of feeding supplemental organic iron to late gestation and early lactation cows. *Journal of Dairy Science*, 93(5), 2153-2160.
- Whitehead C., D. (2000). Nutrient Elements in Grassland: soil-plant-animal relationship, *CABI Publishing*, New York, USA.
- Yim, M. B., Chock, P. B., & E. R. Stadtman. (1990). Copper, zinc superoxide dismutase catalyzes hydroxyl radical production from hydrogen peroxide. *Proceedings National Academy of Sciences of the U.S.A*, 87, 5006-5010.