



## Efecto de la suplementación con minerales de fuentes queladas o inorgánicas y vitamina E en la calidad y estabilidad oxidativa de la carne de bovinos



Manuel Andrés González Toimil <sup>a\*</sup>

Pedro Garcés Yépez <sup>b</sup>

Luis Humberto López Hernández <sup>c</sup>

Diego Braña Varela <sup>d</sup>

Everardo González Padilla <sup>e</sup>

<sup>a</sup> Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán, Departamento de Ciencias Pecuarias. Estado de México, México.

<sup>b</sup> UNAM. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Fisiología. Ciudad de México, México.

<sup>c</sup> INIFAP. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal, Laboratorio de Carnes. Ajuchitlán, Querétaro, México.

<sup>d</sup> Elanco Animal Health, Latinoamérica.

<sup>e</sup> UNAM. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Reproducción. Ciudad de México, México.

\* Autor de correspondencia: [m.a.toimil@gmail.com](mailto:m.a.toimil@gmail.com)

### Resumen:

Se evaluaron dos fuentes de Cu, Se y Zn en combinación con vitamina E sobre la calidad y estabilidad oxidativa de carne de bovino. Se usaron 799 bovinos (cebú x europeo) aleatorizados a 16 corrales en una engorda comercial de Veracruz. Treinta (30) días previos a la matanza, los tratamientos fueron: suplementación mineral, adicional a la tradicional, con las mismas dosis de Cu, Se y Zn, de fuente quelada o de fuente

inorgánica, con y sin vitamina E. El peso a la matanza fue de  $450.5 \pm 30.5$  kg. Se seleccionaron aleatoriamente 12 bovinos por cada tratamiento para evaluar variables de calidad en la carne del músculo largo dorsal (*rib eye*). La carne se mantuvo a  $-20$  °C hasta su proceso. En laboratorio se descongeló y maduró por uno y ocho días a  $4$  °C. La carne de animales que consumieron minerales inorgánicos tuvo la menor pérdida de agua por descongelación ( $P<0.05$ ). La carne de animales que consumieron minerales quelados tuvieron mayores pH ( $P<0.05$ ), capacidad de retención de agua y actividad de catalasa, pero menor fuerza de corte ( $P<0.05$ ). La vitamina E disminuyó la pérdida de agua por goteo ( $P<0.05$ ). Se observó una interacción entre la vitamina E y la fuente de mineral en las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS) a los ocho días de maduración, donde el uso de minerales de fuentes inorgánicas sin vitamina E permitió mayor actividad oxidativa. En general el uso de vitamina E y minerales quelados reduce pérdidas de agua, en la carne, las actividades oxidativas y la fuerza de corte.

**Palabras clave:** Calidad de la carne, Estabilidad oxidativa, Carne de bovino, Minerales quelados, Minerales inorgánicos.

Recibido: 06/04/2018

Aceptado: 11/03/2019

## Introducción

Se ha propuesto que al suplementar la ración de animales de engorda con minerales quelados<sup>(1)</sup> y vitamina E se pueden mejorar las características fisicoquímicas y organolépticas de la carne. Algunos de los resultados encontrados han reportado: incremento en el grado de calidad y marmoleo<sup>(2)</sup>, mayor peso de las canales calientes de bovinos<sup>(3,4)</sup>; menor pérdida de agua por goteo en canales<sup>(5)</sup>, así como, mejor color de la carne de porcinos<sup>(6)</sup>. Así también, la oxidación lipídica<sup>(7)</sup>, y de la oximioglobina fue menor cuando se suplementó la dieta de bovinos con vitamina E<sup>(8)</sup>.

Los minerales quelados han mostrado mayor eficiencia en su absorción<sup>(9)</sup> y disponibilidad<sup>(10)</sup>, la cual les permite una mejor distribución y retención en los tejidos<sup>(7,11)</sup>, por otra parte, los minerales inorgánicos se disocian en el retículo-rumen, omaso y abomaso, pudiendo formar compuestos indigestibles<sup>(12)</sup>, y complejos insolubles con otros minerales<sup>(13)</sup>. El Cu, Se y Zn son minerales esenciales<sup>(14)</sup>, ya que son cofactores de enzimas antioxidantes como la glutatión peroxidasa (GPX)<sup>(15,16)</sup> y la

superóxido dismutasa (SOD)<sup>(17)</sup> relacionadas con la protección del daño oxidativo a nivel de la membrana citoplasmática.

Otro micronutriente que tiene un efecto mejorador y preservante de la calidad de la carne es la vitamina E, antioxidante natural que se localiza de manera específica en la membrana celular y protege a los ácidos grasos de la oxidación<sup>(18)</sup>.

El objetivo del presente estudio fue investigar la calidad y estabilidad oxidativa de la carne de bovinos finalizados en corral en el trópico mexicano, cuya dieta integral alta en granos fue suplementada con Cu, Se, y Zn a partir de fuentes queladas o inorgánicas, con y sin vitamina E.

## Material y métodos

En una unidad comercial de finalización en corral de bovinos localizada al sur del Estado de Veracruz (19°38'00"N, 95°31'00"O) se utilizaron 799 bovinos (713 hembras y 86 machos) alojados aleatoriamente en 16 corrales (cuatro corrales por tratamiento con 50 animales aproximadamente en cada uno). Los animales tenían fenotipo *Bos taurus* x *Bos indicus*, con peso inicial promedio (al momento de la formación de los corrales) de  $315.9 \pm 4.52$  kg, los cuales provinieron de acopios del sureste mexicano (Veracruz, Oaxaca, Tabasco y Chiapas). Treinta (30) días previos al sacrificio los bovinos se alimentaron con una dieta de finalización que incluyó una premezcla base mineral inorgánica (Cuadro 1), a la cual se agregó una de dos premezclas (Cuadro 2) con Cu, Se y Zn a partir de la fuente mineral de estudio a la misma densidad: minerales quelados (Bioplex® Cobre, Bioplex® Zinc y SelPlex®, Alltech México) y minerales inorgánicos (óxido de zinc, sulfato de cobre y selenito de sodio). Cada animal consumió aproximadamente una dosis diaria de 4 g de una premezcla mineral que contenía 93.9 g/kg de Zn, 25 g/kg de Cu y 0.757 g/kg de Se. La adición de vitamina E (DSM, México) fue a una dosis de 1320 UI/cabeza/día. Los minerales como vitamina E, se proporcionaron a los animales en un arreglo factorial de tratamientos 2 x 2: T1) dieta de finalización más minerales inorgánicos, T2) como T1 más vitamina E, T3) dieta de finalización más minerales quelados, T4) como T3 más vitamina E. Las dietas experimentales se suministraron dos veces al día (0600 h, 40 % y 1200 h, 60 %), y los animales tuvieron libre acceso al agua.

**Cuadro 1:** Composición y valor nutricional calculado de la dieta ofrecida a bovinos durante los últimos 30 días de finalización en corral

| <b>Ingredientes</b>                       | <b>%</b> | <b>Valor nutricional:</b>    |              |
|---|----------|------------------------------|--------------|
| Maíz rolado                               | 76.7     | Materia seca                 | 87.71 %      |
| Salvado de trigo                          | 5.0      | Energía neta metabolizable   | 2.34 Mcal/kg |
| Heno de cebada                            | 4.5      | Proteína cruda               | 12.88 %      |
| Melaza                                    | 4.0      | Extracto etéreo              | 7.32 %       |
| Pasta de soya                             | 4.0      | Cenizas                      | 4.56 %       |
| Aceite de soya                            | 3.3      | Fibra detergente neutra      | 12.67 %      |
| Premezcla mineral inorgánica <sup>1</sup> | 2.5      | Energía neta de ganancia     | 1.65 Mcal/kg |
|   |          | Energía metabolizable        | 3.31 Mcal/kg |
|   |          | Energía digestible           | 3.97 Mcal/kg |
|   |          | Proteína degradable en rumen | 60.46 %      |

<sup>1</sup> Calcio (5.75 g/kg), magnesio (2.35 g/kg) cobre (16.42 mg/kg), selenio (0.06 mg/kg), zinc (43.41 mg/kg).

**Cuadro 2:** Composición de las premezclas minerales experimentales, que se ofrecieron a bovinos durante los últimos 30 días de finalización

| <b>Premezcla mineral quelada</b> |                     | <b>Premezcla mineral inorgánica</b> |                      |
|----------------------------------|---------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Ingredientes:                    | (mg del mineral/kg) | Ingredientes:                       | (mg del mineral /kg) |
| Proteinato de zinc               | 93900               | Óxido de zinc                       | 93900                |
| Proteinato de cobre              | 25000               | Sulfato de cobre                    | 25000                |
| Seleniolevadura                  | 757                 | Selenito de sodio                   | 757                  |

## Movilización y sacrificio de los bovinos

Los bovinos se movilizaron en un transporte especializado a un rastro Tipo Inspección Federal (TIF) ubicado a 110 km de distancia de la engorda. Para las mediciones de calidad y estabilidad oxidativa se seleccionaron al azar 12 bovinos por tratamiento, tres por cada repetición. A su llegada al rastro, los animales se pesaron individualmente en una báscula (Revuelta modelo RGI), obteniendo un peso promedio para hembras y machos de  $450.5 \pm 30.5$  kg. La movilización y sacrificio del ganado se realizaron cumpliendo las normas oficiales: NOM-051-ZOO-1995<sup>(19)</sup> y NOM-033-ZOO-1995<sup>(20)</sup>. Las canales recibieron estimulación eléctrica de corriente alterna (60 Hz, 50 volts x 2 min) inmediatamente después del degüello, los electrodos se colocaron en el tendón de Aquiles y en la nariz.

## Medición de pH y obtención de muestras de lomo

Las canales se cortaron longitudinalmente para obtener dos medias canales y se incorporaron a una cámara de refrigeración donde se midió el pH a los 45 min *postmortem* a nivel del músculo *Semimembranosus* con un electrodo de penetración conectado a un potenciómetro marca Hanna Instruments®. Las canales permanecieron en refrigeración por  $24 \pm 2$  h,  $0.3$  °C). Se tomó una muestra de carne (15 cm de largo aproximadamente) del músculo *Longissimus thoracis* entre el quinto y treceavo espacio intercostal de la media canal izquierda, para los análisis de calidad.

## Determinaciones de color y pH en carne fresca

A las muestras de lomo de cada canal se les midió el color y pH (24 h *post mortem*). La determinación del color se realizó por triplicado<sup>(21)</sup> con un espectrofotocolorímetro (MiniScan EZ HunterLab®, USA. Iluminante D65/10°) después de 30 min de "blooming", y se registraron los valores de L\*= luminosidad, a\*= tono de rojo a verde, y b\*= tono de amarillo a azul. La medición del pH se hizo con un potenciómetro digital portátil (pH-meter, Hanna Instruments®, USA) previamente calibrado. Inmediatamente, las muestras se empacaron al alto vacío y se congelaron a  $-20$  °C hasta su análisis en el Laboratorio de Carnes del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Fisiología y Mejoramiento Animal del INIFAP (Colón, Querétaro). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

## Acondicionamiento de muestras y análisis de carne madurada

Las muestras congeladas se cortaron en cinco chuletas de aproximadamente 1" de espesor a partir de la región próxima a la zona craneal con una sierra de banco (St-295-PE, Torrey®, México). Las chuletas se pesaron e identificaron conforme se iban obteniendo y se colocaron en un refrigerador vertical (Torrey®, México) a  $2$  °C, para posteriormente determinar la pérdida de agua por descongelado; por la diferencia entre el peso individual de la chuleta congelada ( $-20$  °C) menos el peso descongelado y expresada como el porcentaje perdido del peso inicial. La chuleta no. 1 se usó para evaluar el pH<sup>(22)</sup>, el color<sup>(23,24)</sup>, la capacidad de retención de agua<sup>(25)</sup>, la concentración de sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS)<sup>(26)</sup> y la actividad de las enzimas glutatión peroxidasa (GPX) y catalasa (CAT)<sup>(27)</sup>. La chuleta no. 3 se usó para determinar la pérdida de agua por goteo<sup>(28)</sup>. La chuleta no. 4 se preparó en una parrilla eléctrica para posteriormente determinar la pérdida de agua por cocción y la fuerza al corte<sup>(29)</sup>. Las

chuletas no. 2 y 5 se colocaron en charolas de unicel y se cubrieron con plástico PVC, para almacenarlas 8 días a 2 °C. En la carne madurada se midió el pH, color, pérdida de agua por cocción, fuerza de corte, la oxidación lipídica por TBARS y la actividad de las enzimas GPX y CAT. Todas las determinaciones se hicieron por triplicado.

### Análisis estadístico

Los datos de todas las variables estudiadas se sometieron a análisis de varianza para un arreglo factorial 2 x 2, mediante el procedimiento PROC MIXED de SAS.

Modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ijk}$$

$\mu$  = efecto de la media general;

$\alpha_i$  = efecto del i-ésimo tratamiento por fuente mineral;

$\beta_j$  = efecto del j-ésimo tratamiento por vitamina E;

$(\alpha\beta)_{ij}$  = efecto de interacción (fuente mineral por vitamina E);

$E_{ijk}$  = error aleatorio de cada observación.

Adicional al modelo mixto se utilizó la técnica de correlación de Pearson de análisis multivariado (SAS, Versión 9.3) para el estudio de la relación entre las variables estudiadas.

## Resultados y discusión

### Valores de pH en músculo a los 45 min *postmortem*

No se encontró diferencia ( $P > 0.05$ ) en el pH por efecto de fuente mineral, vitamina E, o su interacción a los 45 min *postmortem* (Cuadro 3). El pH a los 45 min *postmortem* osciló entre 6.1 a 6.3, los cuales son valores cercanos a lo observado por otros investigadores, en donde también se utilizó estimulación eléctrica posterior al desangrado de los bovinos<sup>(30)</sup>.

**Cuadro 3:** Efecto de la suplementación de Se, Cu y Zn a partir de fuentes inorgánicas y queladas con y sin vitamina E sobre el pH y color de los lomos de ganado bovino finalizado en corral en el trópico

| Variable                 | Inorgánicos<br>(n= 24)  | Quelados<br>(n= 24)     | No vit. E<br>(n= 24) | Si vit. E<br>(n= 24) |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|
| pH                       |                         |                         |                      |                      |
| 45 min <i>postmortem</i> | 6.31±0.05               | 6.23±0.07               | 6.21±0.05            | 6.33±0.07            |
| 24 h <i>postmortem</i>   | 5.55±0.03 <sup>a</sup>  | 5.67±0.05 <sup>b</sup>  | 5.64±0.06            | 5.59±0.02            |
| L* (luminosidad)         |                         |                         |                      |                      |
| 24 h <i>postmortem</i>   | 41.28±0.55              | 41.74±0.70              | 41.63±0.74           | 41.38±0.51           |
| a* (tono rojo)           |                         |                         |                      |                      |
| 24 h <i>postmortem</i>   | 19.14±0.53              | 19.52±0.35              | 19.13±0.49           | 19.53±0.41           |
| b* (tono amarillo)       |                         |                         |                      |                      |
| 24 h <i>postmortem</i>   | 16.95±0.41 <sup>a</sup> | 17.63±0.40 <sup>b</sup> | 17.12±0.49           | 17.46±0.30           |

Los resultados se presentan como mínimos cuadrados medios, error estándar individual ( $\pm$ ) y el valor de n. Diferentes superíndices dentro de la misma fila indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ).

Los superíndices a, b indican efecto por fuente mineral.

### Valores de pH de los lomos a las 24 h *postmortem* y a los días 1 y 8 de maduración en laboratorio

El pH de las canales refrigeradas por 24 h fue afectado por la fuente mineral ( $P < 0.05$ ), sin embargo, no se encontró efecto por vitamina E, ni interacción de fuente mineral por vitamina E. Los valores de pH con los minerales quelados fueron más elevados ( $5.67 \pm 0.05$ ) que con minerales inorgánicos ( $5.55 \pm 0.03$ ; Cuadro 3). Este efecto sobre el pH se observó<sup>(11)</sup> al suplementar Se de fuentes queladas e inorgánicas, aunque siempre dentro de los rangos considerados normales, que oscilan entre 5.4 y  $5.87^{(31,32)}$ , en que se mantienen las características organolépticas aceptables de las carnes. Sin embargo, las pequeñas variaciones mostradas en pH seguramente afectaron la configuración de algunas proteínas, lo que se puede relacionar con la observación de diferencias en retención de agua de las carnes post descongelación, entre las de animales que consumieron minerales quelados y las de los que lo hicieron únicamente a partir de fuentes inorgánicas y mostraron pH más ácido. Al día 1 y 8 post descongelación no se encontró diferencia en pH entre tratamientos.

## Retención de agua y estabilidad oxidativa de los lomos después de la maduración

La luminosidad ( $L^*$ ) no se afectó ( $P>0.05$ ) por fuente mineral, vitamina E, interacción de la fuente mineral por vitamina E, ni por día de maduración (Cuadros 3 y 4). Los valores de  $a^*$  y  $b^*$  se afectaron ( $P<0.05$ ) por el día de maduración en todos los tratamientos. Se observó un decremento en la intensidad de los tonos rojo y amarillo en los lomos al transcurrir los días de maduración (1-8) lo cual se asocia a la correlación negativa entre el valor de  $a^*$  y TBARS<sup>(33)</sup> como se documenta en el Cuadro 5, que relaciona los cambios de tono rojo con los procesos de oxidación. Lo anterior se debe, a que la oxidación de los ácidos grasos poliinsaturados no solo causa el rápido desarrollo de la rancidez, sino que también afecta el color, la calidad y textura de la carne de res<sup>(34)</sup>.

**Cuadro 4:** Efecto de la suplementación de Se, Cu y Zn a partir de fuentes inorgánicas y queladas con y sin vitamina E sobre la calidad de los lomos descongelados, al día 1 y 8 de maduración de ganado bovino finalizado en corral en el trópico

| Variable                              | Inorgánicos<br>(n=24)   | Quelados<br>(n=24)      | No vit. E<br>(n=24)     | Si vit. E<br>(n=24)     |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Pérdida de agua por descongelación, % | 2.67±0.024 <sup>a</sup> | 3.96±0.29 <sup>b</sup>  | 2.98±0.25               | 3.64±0.33               |
| Pérdida de agua por goteo, %          | 7.65±0.47               | 8.33±0.40               | 8.36±0.44 <sup>β</sup>  | 7.62±0.44 <sup>θ</sup>  |
| Capacidad de retención de agua, %     | 6.23±0.65 <sup>a</sup>  | 9.44±0.90 <sup>b</sup>  | 7.94±0.84               | 7.73±0.86               |
| pH                                    |                         |                         |                         |                         |
| 1 día post descongelación             | 5.52±0.01               | 5.57±0.04               | 5.57±0.04               | 5.51±0.01               |
| 8 días post descongelación            | 5.61±0.01               | 5.63±0.05               | 5.64±0.05               | 5.59±0.01               |
| $L^*$ (luminosidad)                   |                         |                         |                         |                         |
| 1 día post descongelación             | 41.65±0.66              | 41.16±0.46              | 41.52±0.66              | 41.29±0.46              |
| 8 días post descongelación            | 41.77±0.62              | 42.65±0.65              | 41.79±0.73              | 42.63±0.52              |
| $a^*$ (tono rojo)                     |                         |                         |                         |                         |
| 1 día post descongelación             | 18.12±0.22 <sup>1</sup> | 17.85±0.33 <sup>1</sup> | 18.08±0.27 <sup>1</sup> | 17.89±0.29 <sup>1</sup> |
| 8 días post descongelación            | 16.73±0.38 <sup>2</sup> | 16.44±0.37 <sup>2</sup> | 16.47±0.37 <sup>2</sup> | 16.70±0.38 <sup>2</sup> |
| $b^*$ (tono amarillo)                 |                         |                         |                         |                         |
| 1 día post descongelación             | 16.68±0.31 <sup>a</sup> | 15.88±0.32 <sup>b</sup> | 16.26±0.37              | 16.30±0.28              |
| 8 días post descongelación            | 16.32±0.37 <sup>a</sup> | 15.61±0.24 <sup>b</sup> | 16.05±0.34              | 15.88±0.30              |
| Fuerza de corte, kg                   |                         |                         |                         |                         |
| 1 día de maduración                   | 6.35±0.28 <sup>1</sup>  | 6.14±0.28 <sup>1</sup>  | 6.07±0.26 <sup>1</sup>  | 6.42±0.30 <sup>1</sup>  |
| 8 días de maduración                  | 4.70±0.18 <sup>a2</sup> | 3.57±0.12 <sup>2b</sup> | 4.06±0.19 <sup>2</sup>  | 4.18±0.20 <sup>2</sup>  |
| Pérdida de agua por cocción, %        |                         |                         |                         |                         |

|                      |                         |                         |                         |                         |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 día de maduración  | 24.44±0.65 <sup>1</sup> | 25.40±0.68 <sup>1</sup> | 25.22±0.70 <sup>1</sup> | 24.62±0.64 <sup>1</sup> |
| 8 días de maduración | 22.77±0.68 <sup>2</sup> | 22.64±0.59 <sup>2</sup> | 22.31±0.53 <sup>2</sup> | 23.08±0.71 <sup>2</sup> |

Los resultados se presentan como mínimos cuadrados medios, error estándar individual ( $\pm$ ) y el valor de n. Diferentes superíndices dentro de la misma fila indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). Los superíndices a, b indican efecto por fuente mineral. Los superíndices 1, 2 entre filas indican efecto de día. Los superíndices  $\beta$ ,  $\theta$  indican efecto por vitamina E.

**Cuadro 5:** Coeficiente de correlación entre variables

|              | PAG     | CRA   | PAD    | PAC     | pH       | L*      | a*       | b*    | Fuerza corte | TBARS    | CAT  | GPX  |
|--------------|---------|-------|--------|---------|----------|---------|----------|-------|--------------|----------|------|------|
| PAG          | 1.00    |       |        |         |          |         |          |       |              |          |      |      |
| CRA          | 0.12    | 1.00  |        |         |          |         |          |       |              |          |      |      |
| PAD          | 0.33*   | 0.03  | 1.00   |         |          |         |          |       |              |          |      |      |
| PAC          | -0.04   | 0.03  | 0.00   | 1.00    |          |         |          |       |              |          |      |      |
| pH           | -0.28** | 0.14  | -0.26  | -0.29** | 1.00     |         |          |       |              |          |      |      |
| L*           | 0.18    | 0.04  | -0.29* | -0.03   | -0.42*** | 1.00    |          |       |              |          |      |      |
| a*           | -0.31** | -0.16 | -0.01  | 0.05    | -0.18*   | 0.05    | 1.00     |       |              |          |      |      |
| b*           | -0.02   | -0.18 | -0.22  | 0.02    | -0.45*** | 0.66*** | 0.68***  | 1.00  |              |          |      |      |
| Fuerza corte | -0.16   | 0.25  | 0.04   | 0.53*** | -0.23*   | -0.13   | 0.19     | 0.07  | 1.00         |          |      |      |
| TBARS        | 0.26**  | 0.08  | 0.40** | -0.17   | 0.06     | -0.04   | -0.45*** | -0.09 | -0.37***     | 1.00     |      |      |
| CAT          | 0.07    | 0.00  | 0.18   | -0.04   | 0.09     | -0.14   | 0.16     | -0.16 | -0.24*       | -0.09    | 1.00 |      |
| GPX          | 0.35*** | 0.20  | 0.16   | -0.32** | 0.22*    | 0.03    | -0.38*** | -0.15 | -0.60***     | -0.59*** | 0.00 | 1.00 |

PAG= Pérdida de agua por goteo, CRA= capacidad de retención de agua; PAD= pérdida de agua por descongelación; PAC= = pérdida de agua por cocción; TBARS= sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico, CAT= catalasa, GPX= glutatión peroxidasa. \* $P < 0.05$ ; \*\* $P < 0.01$ ; \*\*\* $P < 0.001$ .

El valor de b\* fue más elevado en los tratamientos con minerales inorgánicos ( $P < 0.05$ ) en los días 1 y 8 de maduración (Cuadro 4). La diferencia encontrada se debe a un aumento en la oxidación de la oximioglobina a metamioglobina<sup>(35)</sup>, provocando un color pardo<sup>(34)</sup>. Lo anterior se relaciona a la mayor actividad de TBARS encontrada al día ocho de maduración en los tratamientos con minerales inorgánicos (Cuadro 6).

**Cuadro 6:** Efecto de la suplementación de Se, Cu y Zn a partir de fuentes inorgánicas y queladas con y sin vitamina E sobre la estabilidad oxidativa de los lomos de ganado bovino finalizado en corral en el trópico

| Variable                                 | Mineral de fuente orgánica |                                   | Mineral de origen quelado |                                   |
|--|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
|  | No vit. E<br>T1<br>(n=12)  | Vit E<br>T2<br>(n=12)             | No vit. E<br>T3<br>(n=12) | Vit E<br>T4<br>(n=12)             |
| TBARS <sup>α</sup><br>(mg MDA/ kg carne) |                            |                                   |                           |                                   |
| 1 día de maduración                      | 0.05±0.008 <sup>1</sup>    | 0.03±0.003 <sup>1</sup>           | 0.05±0.006 <sup>1</sup>   | 0.05±0.004 <sup>1</sup>           |
| 8 días de maduración                     | 0.72±0.107 <sup>2a</sup>   | 0.24±0.017 <sup>2 b †</sup><br>** | 0.33±0.068 <sup>2b</sup>  | 0.20±0.021 <sup>2</sup><br>b † ** |
| CAT <sup>β</sup> (U/ml extracto)         |                            |                                   |                           |                                   |
| 1 día de maduración                      | 10.83±0.89 <sup>ab</sup>   | 8.32±1.08 <sup>a</sup>            | 12.64±0.69 <sup>b</sup>   | 12.92±0.94 <sup>b</sup>           |
| 8 días de maduración                     | 9.72±1.07 <sup>a</sup>     | 10.72±1.21 <sup>a</sup>           | 12.62±0.83 <sup>b</sup>   | 13.16±0.69 <sup>b</sup>           |
| GPX <sup>γ</sup> (U/g carne)             |                            |                                   |                           |                                   |
| 1 día de maduración                      | 13.29±1.00 <sup>1</sup>    | 13.99±0.77 <sup>1</sup>           | 15.46±0.84 <sup>1</sup>   | 15.34±0.84 <sup>1</sup>           |
| 8 días de maduración                     | 59.44±4.39 <sup>2</sup>    | 57.83±3.56 <sup>2</sup>           | 49.43±2.80 <sup>2</sup>   | 51.31±3.88 <sup>2</sup>           |

<sup>α</sup> Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico; <sup>β</sup> Catalasa; <sup>γ</sup> Glutación peroxidasa.

Los resultados se presentan como mínimos cuadrados medios, error estándar individual (±) y el valor de n. Diferentes superíndices dentro de la misma fila indican diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). a, b indican efecto por fuente mineral. El superíndice † indica efecto por vitamina E. El superíndice \*\* indica efecto de interacción de fuente mineral y vitamina E. Los superíndices 1, 2 entre filas indican diferencia significativa por efecto de día.

### Pérdida de agua por descongelación

La fuente mineral afectó ( $P < 0.05$ ) la pérdida de agua por descongelación, no así la vitamina E ni la interacción de la fuente mineral por vitamina E. Se obtuvo mayor pérdida ( $P < 0.05$ ) de agua por descongelación en los lomos con minerales quelados que los minerales inorgánicos. El pH de los lomos con minerales quelados fue mayor en comparación con el de los minerales inorgánicos a las 24 h *postmortem* ( $P < 0.05$ ), lo cual favoreció la estabilidad de las proteínas miofibrilares y por lo tanto la retención de agua en los lomos. Una parte del agua retenida en los lomos con minerales quelados pudo haberse convertido en cristales de hielo al momento de la congelación, lo cual se puede asociar a la mayor cantidad de agua perdida durante la maduración de las

muestras. Así también, la mayor actividad de la enzima CAT se puede relacionar a la pérdida de agua observada en los tratamientos con minerales quelados.

### **Pérdida de agua por goteo**

La pérdida de agua por goteo en los lomos se afectó por la vitamina E ( $P<0.05$ ). La fuente mineral y la interacción de fuente mineral con vitamina E no tuvieron efecto ( $P>0.05$ , Cuadro 4). La suplementación con vitamina E favoreció la actividad antioxidante a nivel de la membrana celular<sup>(36)</sup> y permitió a la célula mantener sus componentes sarcoplásmicos durante el almacenamiento de la carne<sup>(37)</sup>; esta acción antioxidante se relaciona con la menor actividad de TBARS en los tratamientos suplementados con vitamina E (Cuadro 5).

### **Capacidad de retención de agua**

Los lomos de los tratamientos con minerales quelados mostraron mayor capacidad de retención del agua (CRA) ( $P<0.05$ ) que los tratamientos con minerales inorgánicos. No se encontró efecto de vitamina E ni de su interacción con la fuente de minerales. Una de las condiciones que puede alterar la conformación de las proteínas miofibrilares y el espacio entre ellas, es la carga neta que se puede modificar por cambios en el balance de aniones/cationes, sobre todo el reemplazo de los divalentes por monovalentes<sup>(38)</sup>, como ocurrió con la adición de solución salina. Por otro lado, la carne de los animales suplementados con las fuentes inorgánicas de los minerales en estudio mostró tanto en la canal como en los lomos, menores pérdidas de agua, aunque cuando se les agregó solución salina su capacidad de retención fue menor.

Los valores de pH encontrados en los lomos con minerales quelados a las 24 h *postmortem* (Cuadro 3) favorecieron la CRA, ya que, las proteínas miofibrilares se encontraron más alejadas de su punto isoeléctrico (pH 5.4-5.5)<sup>(38)</sup>, lo cual favoreció la estabilidad de las proteínas y su unión a moléculas de agua.

### **Fuerza de corte a los días 1 y 8 de maduración**

La fuerza de corte (FC) no fue afectada ( $P<0.05$ ) por la fuente mineral, vitamina E o su interacción al día 1 de maduración. Sin embargo, se encontró una menor fuerza de corte ( $P<0.05$ ) al día 8 de maduración por efecto de la fuente mineral, y no así por vitamina E

o su interacción (Cuadro 4). La FC se correlacionó con la pérdida de agua por cocción ( $r=0.53$ ;  $P<0.001$ ; Cuadro 6) y con el pH tuvo una correlación negativa ( $r=-0.23$ ,  $P<0.05$ ). Shackelford *et al*<sup>(39)</sup> realizaron una escala para clasificar la FC para la carne de res, reportando:  $<3.2$  kg carne muy suave, de 3.2 a 3.89 kg carne suave, 3.89 a 4.59 kg intermedia, y valores  $>4.6$  kg para carne dura. Por lo que, los lomos de los cuatro tratamientos fueron considerados "duros" al día 1 de maduración, sin embargo, al día 8 de maduración la carne de los animales que recibieron minerales quelados fue considerada como "suave", mientras que la carne de los animales que recibieron solo minerales inorgánicos fue considerada como "intermedia", y la de los que recibieron minerales inorgánicos con vitamina E fue clasificada como carne "dura".

Se ha sugerido que valores de pH iguales o superiores a 5.8 son considerados inaceptables para carne de res y se consideran cortes oscuros<sup>(40)</sup>; los cuales se caracterizan por tener mayor CRA y menor FC<sup>(41,42)</sup>, así también, valores de pH elevados ( $>6.0$ ) pueden incrementar la degradación del disco Z<sup>(43)</sup>. Lo anterior, se relaciona con los valores de pH más elevados, observados en los tratamientos con minerales quelados, lo cual aumentó la CRA, así como, la suavidad de los lomos. Por otra parte, se demostró que la suplementación con Se quelado causó mayor acumulación de selenoaminoácidos, lo cual pudo modificar la estructura del tejido muscular provocando menor FC<sup>(11)</sup>. El ablandamiento de la carne está relacionado a la maduración de la misma, ya que en ese proceso enzimas como la calpaína y catepsina tienen acción proteolítica sobre proteínas estructurales de la fibra muscular<sup>(38,44)</sup>. Los ocho días de maduración sometieron a la carne a ese proceso de ablandamiento por acción enzimática, que se vio favorecido por un mayor pH de los cortes de animales suplementados con minerales quelados (Cuadro 3).

### **Pérdida de agua por cocción a los días 1 y 8 de maduración**

No hubo efecto de la fuente de minerales, vitamina E, ni de su interacción sobre la pérdida de agua por cocción de los lomos con 1 y 8 días de maduración. Sin embargo, hubo efecto por día de maduración, ya que los cortes con un día tuvieron mayor pérdida de agua que los madurados por ocho días (Cuadro 4). Los cortes sometidos a cocción estuvieron previamente congelados, lo cual pudo modificar la CRA<sup>(45)</sup> al originar que el agua inmovilizada se convirtiera en cristales de hielo<sup>(44)</sup>, que al descongelarse se transformara en agua libre, parte de la cual se perdió entre el día uno y ocho de maduración.

## TBARS en los cortes a los días 1 y 8 de maduración

Las sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico no se afectaron por efecto de tratamiento al día uno de maduración de las muestras ( $P>0.05$ ), sin embargo, para el día ocho hubo efecto por interacción entre fuente de minerales y vitamina E ( $P<0.05$ ; Cuadro 5). Los valores de las TBARS aumentaron de cuatro a seis veces para los tratamientos con fuentes queladas y de ocho hasta más de 14 veces en los tratamientos con minerales inorgánicos. La diferencia encontrada en la actividad de las TBARS entre los días uno y ocho de maduración se debe al incremento de la peroxidación de las grasas, la cual se incrementó al madurar la carne en refrigeración. La diferencia encontrada al día ocho entre T1 y T3 (Cuadro 5) se puede originar por la diferencia en concentración de cofactores como Se almacenado en los tejidos, como señala Cravo *et al*<sup>(46)</sup> quienes encontraron mayor concentración de Se en músculos provenientes de bovinos suplementados con minerales quelados. El efecto adicional de la vitamina E ha sido también documentado por su acción preventiva del deterioro oxidativo<sup>(8,37)</sup> al neutralizar el efecto de los radicales libres, lo cual se evidenció al encontrar menor actividad de las TBARS en los tratamientos que recibieron vitamina E (Cuadro 5).

### Catalasa

No se encontró efecto por vitamina E ni por la interacción de la fuente mineral por la vitamina E, sin embargo, la actividad de la enzima CAT fue mayor con minerales quelados en los dos tiempos post descongelación estudiados ( $P<0.05$ ; Cuadro 5). Aparentemente la mayor actividad de esa enzima se asoció a la mayor biodisponibilidad de los minerales quelados como el Cu, que participa, a través de la ceruloplasmina, en la oxidación del Fe del grupo hemo, cofactor de CAT, en la primera etapa de la acción de la enzima sobre el peróxido de hidrógeno<sup>(17)</sup>. La mayor actividad de la CAT registrada en los lomos con minerales de fuentes quelados ayudó a disminuir la oxidación de las grasas.

### Glutación peroxidasa

No se encontró efecto por fuente mineral, vitamina E ni por la interacción de la fuente mineral por la vitamina E. Por otra parte, la actividad de la enzima glutatión peroxidasa se afectó por el tiempo de maduración de la carne ( $P<0.05$ ), siendo menor el día uno que el día ocho (Cuadro 5). Lo anterior se puede relacionar con la actividad de los radicales libres, ya que, con el transcurso de los días de maduración, estos van

incrementando por la exposición de la carne al ambiente y a la multiplicación bacteriana. O'grady *et al*<sup>(8)</sup> tampoco encontraron efecto sobre la actividad de la enzima GPX al suplementar bovinos con una fuente quelada o inorgánica con o sin vitamina E, concluyendo que las concentraciones de Se fueron suficientes para cubrir los requerimientos en todos los tratamientos.

## **Conclusiones e implicaciones**

La suplementación con minerales inorgánicos y quelados (Cu, Se, y Zn) con y sin vitamina E modificó características de calidad y estabilidad oxidativa de la carne de bovinos finalizados en corral con dietas ricas en granos en el trópico mexicano. La suplementación con minerales de fuente inorgánica, permitió una menor pérdida de agua por descongelación de la carne. Por otra parte, el uso de minerales quelados y vitamina E aumentó la capacidad de retención de agua agregada y redujo la actividad oxidativa y fuerza de corte en la carne de bovino. Lo anterior se puede asociar a la mayor absorción y biodisponibilidad de los minerales quelados, lo que pudo afectar la concentración de estos minerales en la carne, así como el pH; esto provocó diferencias en la capacidad de retención de agua, fuerza de corte y actividad de la enzima CAT. Se observó una interacción entre la vitamina E y la fuente de mineral en las TBAR, donde el uso de minerales de fuentes inorgánicas sin vitamina E permitió la mayor oxidación en la carne. La menor fuerza de corte, mayor capacidad de retención de agua y mayor estabilidad oxidativa fueron factores encontrados en la carne de los tratamientos con minerales quelados y vitamina E. Estos factores son deseados en la industria de la carne, por lo cual, los engordadores de ganado que procesan y comercializan sus productos cárnicos, pueden suplementar sus raciones de finalización con Se, Cu y Zn de fuentes queladas y vitamina E, ya que, pueden proporcionar un valor agregado a la carne.

## **Agradecimientos**

Al Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias de la Producción y de la Salud Animal de la UNAM, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), Rancho Santa Rita, Alltech de México, DSM México y Nutrimentos Minerales de Hidalgo, por apoyos técnicos y económicos para la realización de este trabajo.

**Literatura citada:**

1. McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA. *Nutrición animal*. 6a ed. Zaragoza, España: Acribia; 2002.
2. Greene LW, Lunt DK, Byers FM, Chirase NK, Richmond CE, Knutson RE, Schelling GT. Performance and carcass quality of steers supplemented with zinc oxide or zinc methionine. *J Anim Sci* 1988;(66):1818-1823.
3. Holder VB, Jennings JS, Swingle RS. Effects of the EPNIX™ beef program on feedlot performance in diets containing no monensin or tylosin. *J Anim Sci* 2016;94(Suppl 5):199.
4. Spears JW, Kegley EB. Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *J Anim Sci* 2002;(80):2747–2752.
5. Edens FW. Potential for organic selenium to replace selenite in poultry diets. *Zootec Int* 1997;20(1):28-31.
6. Zhan X, Wang M, Zhao R, Li W, Xu Z. Effects of different selenium source on selenium distribution, loin quality and antioxidant status in finishing pigs. *Anim Feed Sci Technol* 2007;(132):202-211.
7. Birnie J, Farmer L, Moss B, Tollan E, Devlin D, Tollerton J, Graham B, Fearon A, Hagan T, Majury L, Gordon A. Selenium source and vitamin E: impact on beef quality. *Science and technology in the feed industry. 26th International Symposium Alltech*. 2010:16-19.
8. O’Grady MN, Monahan FJ, Fallon RJ, Allen P. Effects of dietary supplementation with vitamin E and organic selenium on the oxidative stability of beef. *J Anim Sci* 2001;(79):2827–2834.
9. Fairweather-Tait SJ, Collings R, Hurst R. Selenium bioavailability: current knowledge and future research requirements. *Am J Clin Nutr* 2010;91(Suppl 5):1484S–1491S.
10. Gressley TF. Zinc, copper, manganese, and selenium in dairy cattle rations. *Proc 7th Ann Mid-Atlantic Nutrition Conf*. 2009:65-71.
11. Cozzi G, Prevedello P, Stefani AL, Piron A, Contiero B, Lante A, Gottardo F, Chevaux E. Effect of dietary supplementation with different sources of selenium on growth response, selenium blood levels and meat quality of intensively finished Charolais young bulls. *Animal* 2011;5(10):1531–1538.
12. McDonald M, Mila I, Scalbert A. Precipitations of metal ions by plant polyphenols: optimal conditions and origin of precipitation. *J Agric Food Chem* 1996;(44):599-606.

13. Spears JW. Trace mineral bioavailability in ruminants. *J Nutr* 2003;133(Suppl 1):1506S-1509S.
14. Waldron KJ, Rutherford JC, Ford D, Robinson NJ. Metalloproteins and metal sensing. *Nature* 2009;(460):823-830.
15. Sunde RA. Selenium. In: O'Dell BL, Sunde RA. *Handbook of nutritionally essential mineral elements*. NY USA: Marcel Dekker; 1997:493-556.
16. Behne D, Kyriakopoulos A. Mammalian selenium-containing proteins. *Annu Rev Nutr* 2001;(21):453-473.
17. Suttle N. *Mineral nutrition of livestock*. 4th ed. CABI. Oxfordshire, UK. 2010.
18. Sales J, Koukolová V. Dietary vitamin E and lipid and color stability of beef and pork: Modeling of relationships. *J Anim Sci* 2011;(89):2836-2848.
19. NOM-051-ZOO-1995. "Trato humanitario en la movilización de animales", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26-marzo-1996.
20. NOM-033-ZOO-1995. "Sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres", publicada en el Diario Oficial de la Federación el 07-Julio-1995.
21. CIE. Commission Internationale de L'Eclairage. Technical report, colorimetry. 2004.
22. NMX-F-317-S-1978. "Determinación de pH en los alimentos". 23-Mayo-1978.
23. Hunt MC, Acton JC, Benedict RC, Calkins CR, Cornforth DP, Jeremiah LE, Olson DG, *et al.* Guidelines for meat color evaluation. AMSA. 1991.
24. Mancini RA, Hunt MC. Current research in meat color. *Meat Sci* 2005;(71):100-121.
25. Guerrero I, Ponce E, Pérez ML. *Curso práctico de tecnología de carnes y pescado*. Universidad Autónoma Metropolitana. DF, México. 2002.
26. Tomás MC, Funes J. Application of 2-Thiobarbituric acid reaction to exudates of frozen and refrigerated meats. *J Anim Sci* 1987;(52):575-579.
27. Hernandez P, Zomeño L, Ariño B, Blasco A. Antioxidant, lipolytic and proteolytic enzyme activities in pork meat from different genotypes. *Meat Sci* 2004;(66):525-529.
28. Honikel KO. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat. *Meat Sci* 1998;(49):447-457.
29. AMSA. American Meat Science Association. *Research guidelines for cookery, sensory evaluation and instrumental tenderness measurements of fresh meat*. 2nd ed, version 1.0. 2015.

30. Kastner CL, Schwenke JR, Kenney PB, Campbell RE, Kendall JA, Milliken GA. Comparisons of the effect of electrical stimulation methods on *postmortem* pH decline in beef muscle. *Meat Sci* 1993;(35):183-190.
31. Smulders FJM, Toldrá F, Flores J, Prieto M. New technologies for meat and meat products. Utrecht: Audet Tijdschriften 1992;(182):186–188.
32. Page JK, Wulf DM, Schwotzer TR. A survey of beef muscle color and pH. *J Anim Sci* 2001;(79):678–687.
33. Gatellier P, Hamelin C, Durand Y, Renerre M. Effect of a dietary vitamin E supplementation on colour stability and lipid oxidation of air- and modified atmosphere-packaged beef. *Meat Sci* 2001;(59):133–140.
34. Kanner J. Oxidative processes in meat and meat products: quality implications. *Meat Sci* 1994;(36):169–189.
35. Lanari MC, Schaefer DM, Liu Q, Cassens RG. Kinetics of pigment oxidation in beef from steers supplemented with vitamin E. *J Food Sci* 1996;(61):884–889.
36. McDowell LR. Vitamins in animal and human nutrition, 2nd ed. USA: Iowa State University Press; 2000.
37. Mitsumoto M, Arnold RN, Schaefer DM, Cassens RG. Dietary vitamin E supplementation shifted weight loss from drip to cooking loss in fresh beef longissimus during display. *J Anim Sci* 1995;(73):2289-2294.
38. Brewer MS. Water-Holding Capacity. In: *Encyclopedia of meat sciences*, Vol 1. Elsevier Ltd. USA. 2014:274-282.
39. Shackelford SD, Morgan JB, Cross HR, Savell JW. Identification of threshold levels for Warner-Bratzler shear force in beef top loin steaks. *J Muscle Foods* 1991;(2):289-296.
40. Monin G, Santé-Lhoutellier V. Color and texture deviations. In: *Encyclopedia of meat sciences*, Vol 1. Elsevier Ltd. USA. 2014:339-345.
41. Maddock KR, Huff-Lonergan E, Rowe LJ, Lonergan SM. Effect of pH and ionic strength on  $\mu$ - and m-calpain inhibition by calpastatin. *J Anim Sci* 2005;(83):1370–1376.
42. Grayson AL. Effect of degree of dark-cutting on tenderness and flavor attributes of beef [Tesis doctoral]. EU, Texas: Texas A&M University; 2014.
43. Dutson TR. Relationship of pH and temperature to disruption of specific muscle proteins and activity of lysosomal proteases. *J Food Biochem* 1983;(7):223-245.

44. Huff-Lonergan E, Lonergan SM. Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of *postmortem* biochemical and structural changes. *Meat Sci* 2005;(71):194-204.
45. Pietrasik Z, Janz JA. Influence of freezing and thawing on the hydration characteristics, quality, and consumer acceptance of whole muscle beef injected with solutions of salt and phosphate. *Meat Sci* 2009;(8):523–532.
46. Cravo AS, Veiga M, Aferri G, Pereira da Silva RR, da Luz S, de Freitas JE, Leme PR, Palma F. Lipid and selenium sources on fatty acid composition of intramuscular fat and muscle selenium concentration of Nellore steers. *R Bras Zoot* 2012; 41(11):2357-2363.