



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y
SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

EFFECTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL DESARROLLO PREDESTETE DE BECERRAS HOLSTEIN EN LA COMARCA LAGUNERA

TESIS

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

GUSTAVO DE LA TORRE LÓPEZ

Bajo la supervisión de:

Maximino Huerta Bravo, Ph.D.



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



Junio de 2017

Chapingo, estado de México

EFFECTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL DESARROLLO PREDESTETE DE BECERRAS HOLSTEIN EN LA COMARCA LAGUNERA

Tesis realizada por **GUSTAVO DE LA TORRE LÓPEZ**, bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

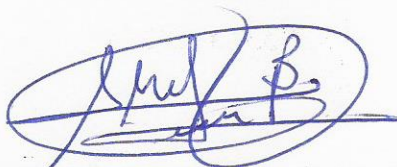
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



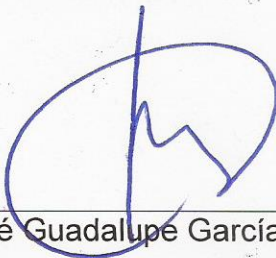
Ph. D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:



Dr. Alejandro Lara Bueno

ASESOR:



Ph.D. José Guadalupe García Muñiz

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	iv
AGRADECIMIENTOS	vi
DATOS BIOGRÁFICOS.....	vii
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1 Producción lechera en la Comarca Lagunera	2
2.2 Demanda de agua en la Comarca Lagunera para la producción de leche	3
2.3 Calidad del agua de la Comarca Lagunera para consumo del ganado	3
2.4 Impacto de la calidad del agua en el desarrollo de becerras predestete.....	5
2.5 SULFATOS	7
2.5.1 Importancia de SO_4^{2-} en el organismo	7
2.5.2 Efectos tóxicos de SO_4^{2-} en el organismo	8
2.5.3 Interacción de los SO_4^{2-} con otros nutrientes	8
2.6 Importancia del Cu en el organismo	9
2.7 Importancia del Se en el organismo.....	10
2.8 LITERATURA CITADA	13
3. DESARROLLO PRE-DESTETE DE BECERRAS HOLSTEIN BAJO DISTINTA CALIDAD DEL AGUA Y SUPLEMENTACIÓN MINERAL	18
3.1 RESUMEN	18
3.2 ABSTRACT	19
3.3 INTRODUCCIÓN	20
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS	21
3.4.1 Localización	21
3.4.2 Animales, alimentación y manejo	22
3.4.3 Diseño experimental y tratamientos	22
3.4.4 Registro de consumo de alimento y agua	23
3.4.5 Toma de muestras de agua, temperatura del agua y registro de temperatura ambiental.....	24
3.4.6 Toma de muestras de sangre y registro del peso de los animales.....	24

3.4.7 Análisis de laboratorio	25
3.4.8 Análisis estadístico	25
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
3.5.1 Calidad del agua.....	27
3.5.2 Índice Temperatura-Humedad	28
3.5.3 Efectos principales sobre el consumo de agua, leche y alimento	30
3.5.4 Efectos principales sobre el consumo de agua, leche y alimento	38
3.6 CONCLUSIONES	50
3.7 LITERATURA CITADA	51

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Producción de leche lechera por municipio en la Comarca Lagunera.	2
Cuadro 2. Principales enzimas dependientes de Cu	10
Cuadro 3. Principales seleno proteínas en el organismo	12
Cuadro 4. Medias para las concentraciones de agua de pozo con o sin procesamiento mediante ósmosis inversa.	27
Cuadro 5. Comportamiento del ITH a través del día por hora (junio a agosto de 2014).....	29
Cuadro 6. Probabilidades de efectos principales y sus interacciones sobre el consumo de leche, alimento, agua y peso vivo.....	30
Cuadro 7. Probabilidades de efectos principales y sus interacciones sobre la concentración mineral en suero sanguíneo de becerras	38
Cuadro 8. Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de Cu (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.	41
Cuadro 9 Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de Fe (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.	43
Cuadro 10. Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de Mg (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.	45
Cuadro 11. Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de Na (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.	47
Cuadro 12. Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de Zn (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.	48
Cuadro 13. Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de Ca (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.	49
Cuadro 14. Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de K (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tendencia del consumo de leche, agua, alimento y peso vivo por tratamiento. ■ = Agua no procesada*Sin suplementación; ■ = Agua no procesada*Con suplementación; ■ = Agua procesada por ósmosis inversa*Sin suplementación; ■ = Agua procesada por ósmosis inversa*suplementación...	31
Figura 2. Efecto de la interacción día y procesamiento de agua en el consumo de agua en becerras	33
Figura 3. Efecto de la interacción día y suplementación en el consumo de agua en becerras	34
Figura 4. Efecto de la interacción día y procesamiento de agua en el consumo de alimento en becerras	35
Figura 5. Efecto de la interacción procesamiento de agua y suplementación en el consumo de alimento en becerras	36
Figura 6. Efecto de la suplementación en el cambio de peso vivo de las becerras	38
Figura 7. Tendencia de la concentración de Cu, Fe y Zn por tratamiento. ■ = Agua no procesada*Sin suplementación; ■ = Agua no procesada*Con suplementación; ■ = Agua procesada por ósmosis inversa*Sin suplementación; ■ = Agua procesada por ósmosis inversa*suplementación.....	40
Figura 8. Tendencia de las concentraciones sanguíneas de Ca, Mg, Na y K en becerras. ■ = Agua no procesada*Sin suplementación; ■ = Agua no procesada*Con suplementación; ■ = Agua tratada procesada inversa*Sin suplementación; ■ = Agua procesada por ósmosis inversa*suplementación...	40
Figura 9. Efecto de la interacción procesamiento de agua y suplementación en las concentraciones de Cu en suero sanguíneo de becerras	42
Figura 10. Efecto de la suplementación en las concentraciones de Fe en suero sanguíneo de becerras.	44
Figura 11. Efecto de la interacción procesamiento de agua y suplementación en las concentraciones de Mg en suero sanguíneo de becerras	46
Figura 12. Efecto de la suplementación en las concentraciones de Na en suero sanguíneo de becerras.	47

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por otorgarme la beca y que hizo posible que realizara mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal, por brindarme las oportunidades de seguir estudiando, seguir aprendiendo y superarme de manera profesional y como persona.

A la comunidad del Posgrado en Producción Animal y a mis compañeros de generación, quienes de alguna u otra manera apoyaron para que mis estudios de posgrado y este proyecto de investigación fueran realizados de la mejor manera posible.

Al Ph. D Maximino Huerta Bravo por dirigir este proyecto de investigación, por sus observaciones, consejos y por todo su apoyo.

Al Dr. Alejandro Lara Bueno, por colaborar en este proyecto de investigación y poder realizarlo en tiempo y forma.

Al Ph. D. José Guadalupe García Muñiz, por haber aceptado asesorar este proyecto de investigación, por su apoyo y valiosas observaciones.

Cuando la gratitud es tan absoluta las palabras sobran.

Álvaro Mutis

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre	Gustavo De La Torre López
Fecha de nacimiento	09 de octubre de 1989
Lugar de nacimiento	Torreón, Coahuila.
Matrícula cartilla militar	C-9909130
CURP	TOLG891009HCLRPS00
Profesión	Ingeniero en Sistemas Pecuarios
Cédula profesional	9687874

Desarrollo académico

Preparatoria (2006-2009)	Universidad Autónoma del Noreste Torreón, Coahuila
Licenciatura (2009–2014)	Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas. Universidad Autónoma Chapingo
Maestría (2015 – 2016)	Posgrado en Producción Animal, Depto. de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La crianza de becerras es una de las operaciones más importantes en las explotaciones lecheras y representa uno de los mayores retos de la ganadería actual (Favela, Acosta, Hernandez y Jaimes, 2006), aspectos como la salud y el manejo de las crías forman parte de los componentes más importantes de la rentabilidad en el hato lechero (Yesca y Jaimes, 2010).

Nutricionalmente, la cría se puede ver afectada por la deficiencia de minerales traza (Kennedy y Lewis, 2011), principalmente minerales como Zn, Fe, Cu y Se, que influyen directamente en el sistema inmune, ya que forman parte del complejo antioxidante de la cría (Hutjens, 1999).

La absorción de algunos de estos minerales en los animales es afectada por la presencia de minerales antagonistas, como es el caso de S (Weiss, 2014). El exceso de S, principalmente en agua en forma de SO_4^{2-} , puede provocar diarreas osmóticas, reducir el consumo de alimento y afectar el desarrollo del animal (Herrera, 2012), principalmente cuando la concentración de sulfatos en agua es superior a 500 mg L^{-1} (NRC, 2001).

La Comarca Lagunera es una de las cuencas lecheras más importantes de México, sin embargo, esta región se caracteriza por presentar problemas de escasez y mala calidad del agua (Sánchez, Delgado, Esquivel, Bueno y Román, 2013). La Comarca Lagunera es una región que se caracteriza por presentar altas concentraciones de metales pesados en agua, sin embargo, también se han presentado altas concentraciones de SO_4^{2-} en los pozos de agua de la región (Leal y Gelover, 2006).

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la calidad del agua y la suplementación mineral con Cu y Se sobre el desarrollo y salud de becerras predestete en el establo Gibraltar, en la Comarca Lagunera.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción de leche en la Comarca Lagunera

La Comarca Lagunera es una de las cuencas lecheras más importantes de México. El SIAP (2014) reporta que para el 2014, la Comarca Lagunera produjo 2, 274,475 miles de litros, es decir, 20.43% de la producción nacional. Para el 2013, el SIAP (2014) señala que los principales municipios productores de esta región fueron Gómez Palacio, Durango, que produjo 589,393.76 miles de litros y Matamoros, Coahuila que produjo 527,955.94 miles de litros (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de leche por municipio en la Comarca Lagunera.

Municipio	Producción (miles de litros)
Gómez Palacio	589,393.76
Matamoros	527,955.94
Fco. I. Madero	319,315.09
Torreón	280,192.44
Lerdo	239,463.47
San Pedro	100,710.98
Tlahualilo	78,051.42
Viesca	64,448.46
Nazas	9,341.24
General Simón Bolívar	6,600.20
Mapimí	5,477.74
San Juan de Guadalupe	1,089.64

Fuente: SIAP, 2014.

La producción de leche de esta región se basa en un sistema tipo americano, el cual utiliza insumos en grandes cantidades, presentan altos niveles de producción, utiliza razas especializadas y cuenta con instalaciones funcionales y procesos mecanizados (Rojas, 2014). Sin embargo, estos sistemas de producción requieren altas cantidades de agua para producir forraje de buena calidad, limpieza y bebida del ganado (Sánchez *et al.*, 2013).

Uno de los principales problemas que enfrenta la producción de leche de la región es la escasez de agua, sequías prolongadas (Rojas, 2014) y mala calidad del agua (Sánchez *et al.*, 2013), lo que provoca que una gran cantidad de agua sea extraída de los mantos acuíferos, lo cual eleva los costos de producción (Rojas, 2014).

2.2 Demanda de agua en la Comarca Lagunera para la producción de leche

La demanda del agua en la Comarca Lagunera está determinada por cuatro sectores: urbano, industrial, agricultura de riego y ganadería (Guzmán-Soria *et al.*, 2006). Dentro del sector ganadero, la demanda de agua para la producción de leche se basa en dos aspectos principales: la producción de forraje y el consumo de agua por el ganado (Sánchez *et al.*, 2013).

Debido a que la Comarca Lagunera se encuentra sobre acuíferos sobreexplotados (Santamaría, Reta, Cueto y Romero, 2006), la producción de forraje se ve afectada de manera considerable (Montemayor-Trejo *et al.*, 2012). Para el 2009, la extracción de agua del acuífero principal de la Comarca Lagunera fue de 930.9 millones m³ (CONAGUA, 2009), de los cuales, 81.3% de dicho volumen se destinó para riego agrícola (Romero y Soto, 2012).

2.3 Calidad del agua de la Comarca Lagunera para consumo del ganado

La calidad del agua impacta directamente en la producción y el estado de salud del ganado (NRC, 2001), por lo tanto, evaluar la calidad del agua para el consumo del ganado debe de ser prioridad dentro de las explotaciones lecheras (Arjomandfar Zamiri, Rowghanai, Khorvash y Ghorbani, 2010). Looper y Waldner (2007) mencionan que la calidad del agua destinada a consumo del ganado debe considerar las siguientes características:

1. Propiedades organolépticas
2. Propiedades fisicoquímicas
3. Presencia de compuestos tóxicos

4. Exceso de minerales o compuestos
5. Presencia de microorganismos.

La presencia de contaminantes como carbonatos (CO_3^{2-}), arsénico (As), flúor (F) y SO_4^{2-} en agua, es común en los pozos de la región de las cuencas centrales del norte (Leal y Gelover, 2002); sin embargo, dentro de esta región hidrológico-administrativa, la Comarca Lagunera es una de las regiones de mayor estudio en México por intoxicación de contaminantes en el agua, principalmente por la presencia de As (Armienta, Finkelman y Rubio-Arias, 2013). La calidad del agua de esta región se ha ido deteriorando debido a los abatimientos de los pozos por actividades antropogénicas, aumentando la profundidad de los mismos (Martínez *et al.*, 2006).

Desde la década de los 70's, la Comisión de Conurbación de la Comarca Lagunera señalaba que en varias localidades de la región se presentaba altas concentraciones de As y SO_4^{2-} (Alvarado, 2006). Dentro del grupo de SO_4^{2-} , el agua subterránea de la Comarca Lagunera se caracteriza por ser del tipo Ca- SO_4 o Ca- NaSO_4 (Arreguín, Chavez, Soto y Smedley, 2009). Por otra parte, el As también se puede presentar como sulfuro por la afinidad que el metaloide tiene con el S, formando Rejalgar ($\alpha\text{-As}_4\text{S}_4$) y Oropimente (As_2O_3) (Leal y Gelover, 2006).

En estudios realizados por Mejía-González, González-Hita, Briones-Gallardo, Cardona-Benavides y Soto-Navarro (2014), encontraron que cinco de los 23 pozos que se analizaron presentaron niveles superiores a los 250 mg/L de SO_4^{2-} . Por otra parte, Leal y Gelover (2002) analizaron 24 pozos de Gómez Palacio, Dgo. y 12 pozos de Lerdo, Dgo., de los cuales encontraron que el 17 y 25% de los pozos, respectivamente, presentaron concentraciones superiores a 400 mg/L de SO_4^{2-} .

2.4 Impacto de la calidad del agua en el desarrollo de becerras predestete

Las becerras deben tener acceso a agua limpia y fresca para asegurar el consumo del líquido durante periodos de estrés calórico, o bien para estimular el consumo de alimento iniciador (Martínez, 2003). Durante la lactancia, una becerra puede tomar alrededor del 10% de su PV en agua cuando la temperatura oscila entre los 5 y 10° C, o hasta un 18% de su PV cuando la temperatura ambiental oscila entre los 25 y 30°C (Martínez, 2003); sin embargo, la ingesta de agua de mala calidad puede afectar el desarrollo de los animales (Braul y Kirychuk, 2001).

Dependiendo de cuál sea el origen del agua que bebe el ganado, los efectos que provocará serán diferentes. En el caso de las fuentes de agua subterráneas es común encontrar problemas con sólidos disueltos totales, nitratos, Fe y Mn, SO_4^{2-} (Braul y Kirychuk, 2001) y dureza total (Higgins, Agouridis y Gumbert, 2008).

Sólidos disueltos totales (SDT). Los SDT hacen referencia a las concentraciones de sales disueltas, materia orgánica y otros minerales disueltos (Weber-Scannell y Duffy, 2007). El cloruro de sodio (NaCl) es el principal componente de SDT, en menores concentraciones se encuentran los bicarbonatos, sulfatos, Ca, Mg y sílice (Looper y Waldner, 2002), Fe, K, P, B, Sr y F (Higgins *et al.*, 2008).

Concentraciones de SDT menores a 3,000 provocan diarrea en ganado, cuando la concentración es de 3,000 a 5,000 ppm, puede disminuir la producción en ganado lechero, principalmente en episodios de estrés calórico (Linn, 2008). Agua con concentraciones de SDT superiores a 7,000 ppm solo debe de ser suministrada a ganado adulto y se debe evitar que animales en lactancia, animales jóvenes o recién nacidos y ganado estresado consuman esta agua ya que puede afectar su comportamiento productivo (Looper y Waldner, 2002).

Dureza total (DT): Hace referencia a la concentración de cationes metálicos divalentes disueltos en el agua y se expresa como la suma de la concentración de Ca y Mg expresada en equivalentes en carbonato de calcio (WHO, 2008; Higgins *et al.*, 2008). Generalmente, la DT es confundida con SDT, sin embargo, los dos parámetros son distintos, es decir, el agua puede tener altas concentraciones de sales sin embargo las concentraciones de Ca y Mg son bajas (Beede, 1993).

Algunos otros metales que contribuyen a la dureza del agua pero que se encuentran en menores concentraciones son Fe, Mn, Zn, Al y Sr (Linn, 2008). Agua con dureza elevada debido a la presencia de metales como Fe (0.3mg/L) afecta la absorción de Cu y Zn en los animales. Así mismo, otros autores señalan que elevados niveles de Ca (12 kg Ca/kg de dieta) en agua afectan la absorción de Se (Higgins *et al.*, 2008). Con base en su dureza, el agua se clasifica en suave (0-60 ppm), moderadamente dura (61-120 ppm), dura (121-180 ppm) y muy dura (>180 ppm) (NRC, 2001).

Nitratos (NO₃). Los NO₃ pueden estar presentes en las fuentes de agua como consecuencia de actividades agrícolas (aplicación de fertilizantes nitrogenados y heces) o contaminación con agua de desecho (WHO, 2008). A nivel ruminal, los nitratos son una fuente de N para la síntesis de proteína microbiana (NRC, 2001). Sin embargo, NO₃ es reducido a nitritos (NO₂) por la actividad bacteriana, el cual es absorbido en el rumen, pasa a la sangre y disminuye la capacidad de la hemoglobina de transportar oxígeno (Linn, 2008).

La intoxicación severa con NO₃ y NO₂ provoca asfixia y dificultad para respirar, espuma en la boca, convulsiones, incoordinación, diarrea, baja tolerancia a la actividad física y coloración café de la sangre (Rasby, Anderson y Kononoff, 2014). Por otra parte, intoxicaciones moderadas con estos compuestos provocan crecimiento retrasado en los animales, infertilidad, abortos y problemas en la absorción de vitamina A (NRC, 2001).

2.5 Sulfatos

Los SO_4^{2-} son producidos en el ambiente por la oxidación de S puro, minerales sulfatados y S orgánico (Appel *et al.*, 2005). Los sulfatos se pueden encontrar de manera natural en el suelo, formaciones rocosas y agua subterránea (Skipton, Dvorak y Woldt , 2010). Sin embargo, a pesar de que los SO_4^{2-} se pueden encontrar prácticamente en todas las fuentes de agua, las aguas subterráneas presentan las mayores concentraciones (EPA, 2003). Los SO_4 presentes en el organismo se producen por la sulfatación de metionina a cisteína, seguida por la oxidación de cisteína a piruvato y el metabolismo de compuestos inorgánicos sulfatados presentes en el agua y el alimento (Appel *et al.*, 2005).

2.5.1 Importancia de SO_4^{2-} en el organismo

El peso vivo del ganado está conformado por 0.15% de S (NRC, 2001). Este mineral forma parte de un gran número de moléculas vitales para el organismo entre ellas aminoácidos, tiamina, biotina, ácido lipoico, coenzima-A, glutatión, sulfato de condroitina, mucopolisacáridos cartilaginosos, fibrinógenos, heparina, ergotioneina y algunas formas de estrógenos (NRC, 2005).

El SO_4^{2-} es requerido para el desarrollo y crecimiento celular, procesos de desintoxicación de componentes exógenos y endógenos y mantenimiento de la membrana celular (Markovich, 2001). En aspectos reproductivos, Dawson (2013) menciona que los SO_4^{2-} ayudan a mejorar la capacidad de recepción de la zona pelúcida y a mantener una mejor función uterina durante la gestación.

Una de las funciones más importantes del SO_4^{2-} en humanos es la biosíntesis de 3-fosfoadenosina-5-fosfopiruvato (PAPS) o sulfato activado, este compuesto es utilizado para la biosíntesis de compuestos esenciales para el organismo, como: sulfato de condroitina, dermatán sulfato, queratán sulfato, sulfato de

heparina, cerebrósidos, tirosina, sulfato de taurocolato y sulfato de estrona (Appel *et al.*, 2005).

2.5.2 Efectos tóxicos de SO_4^{2-} en el organismo

La intoxicación con azufre puede ser dividida en tres categorías: envenenamiento oral agudo, intoxicación crónica directa subaguda e intoxicación crónica indirecta subaguda. Esta última se caracteriza por generar una interacción directa con otros minerales que provoca una deficiencia de los mismos (Hall, 2012).

La toxicidad por S depende de la vía de administración (NRC, 2005), sin embargo, los rumiantes son más susceptibles a intoxicaciones por S, presentando principalmente disminución de los niveles de Cu en hígado, diarrea, disminución de consumo de alimento y crecimiento (Loneragan, Wagner, Gould, Garry y Torren, 2011), dolor abdominal, cólicos, inmovilidad ruminal, deshidratación, acidosis metabólica, hiperventilación, irritación, edema y hemorragia del tracto respiratorio y digestivo y necrosis renal (Hall, 2012).

Otro de los principales efectos de la intoxicación por S es la polioencefalomalacia (PEM). La PEM es un desorden neurológico que se caracteriza por la necrosis de la corteza cerebral (Drewnoski, Beitz, Loy, Hansen y Ensley, 2011) y es provocado por la producción ruminal de ácido sulfhídrico (H_2S) (Gould, 1998). La sintomatología de la PEM es la presencia de ataxia, ceguera, ataques epilépticos y finalmente la muerte del animal (NRC, 2005).

2.5.3 Interacción de los SO_4^{2-} con otros nutrientes

El consumo excesivo de S está relacionado con la reducción de la biodisponibilidad de algunos minerales como Cu, Mo, Fe, Se y Zn (Amat, Olokowski, Atila y O'Neill, 2013). Una de las principales formas en las que el S reduce la biodisponibilidad de los minerales es por medio de la formación de complejos insolubles a través de tracto gastrointestinal (Henry y Miles, 2000).

La asociación de S con Cu y Mo forma el complejo tetratiomolibdato, el cual puede reducir la biodisponibilidad del Cu cuando los niveles de S en dieta aumentan de 0.2 a 0.4% (NRC, 2005). Así mismo, S reduce la absorción de Se debido a la competencia provocada por la similitud química de los mismos (Sneddon, 2012); la inclusión de 0.2 a 0.4% de S en la dieta disminuye la digestibilidad de Se de 46 a 42.3% (NRC, 2005).

Las altas cantidades de S en el organismo pueden reducir la biodisponibilidad de la Tiamina (Vitamina B₁). El S tiene la capacidad de adherirse sobre la vitamina B₁ formando compuestos biológicamente inactivos, lo que genera una deficiencia de esta vitamina (Amat *et al.*, 2013). Así mismo, una deficiencia de B₁ puede provocar PEM (Gould, 1998), esto debido a que la vitamina B₁ juega un rol importante en el metabolismo de la energía, principalmente en las células cerebrales (Amat *et al.*, 2013).

2.6 Importancia del Cu en el organismo

Cobre es un elemento tanto tóxico como esencial en el organismo (Bull *et al.*, 2000). El Cu es esencial para la actividad de un gran número de enzimas, cofactores y proteínas reactivas (Suttle, 2010), mismas que son necesarias para el metabolismo de la energía, maduración y estabilidad del colágeno y elastina, pigmentación, sistema antioxidante y metabolismo del hierro (NRC, 2005). Por lo tanto, el Cu es esencial para un crecimiento adecuado, integridad del sistema cardiovascular, elasticidad de los pulmones, neovascularización, función neuroendocrina y metabolismo del Fe. En el Cuadro 2 se mencionan las principales enzimas dependientes del Cu, así como sus funciones y signos de deficiencia.

Cuadro 2. Principales enzimas dependientes de Cu

Enzima	Función	Daño por deficiencia
Citocromo C Oxidasa	Transporte de electrones durante la respiración aeróbica	Debilidad muscular, cardiomiopatías, degeneración cerebral
Superóxido dismutasa	Desintoxicación de radicales libres, principalmente en leucocitos y eritrocitos	Daño en la membrana celular
Tirosinasa	Producción de melanina	Falla en la pigmentación
Dopamina β -hidroxilasa	Producción de catecolaminas	Efectos en el sistema neurológico
Lisil oxidasa	Formación de enlaces de colágeno y elastina	Ruptura vascular, osteoporosis, enfisema,
Ceruloplasmina	Ferroxidasa, amina oxidasa y transporte de Cu	Anemia y deficiencia de Cu en otros tejidos
Factor de coagulación V	Coagulación sanguínea	Tendencia a sangrados

Fuente: NRC (2001), Danks (1988) y Harmon (1999).

La deficiencia de Cu en el organismo se puede manifestar de diferentes maneras, entre ellas se pueden observar mutaciones genéticas, retraso mental, anemia, neutropenia, diarrea, hipertrofia cardíaca, huesos frágiles, mal funcionamiento del sistema inmune, tejido conectivo débil, daño en el sistema nervioso central, neuropatías periféricas, pérdida de piel y pelaje (Bull *et al.*, 2000).

2.7 Importancia del Se en el organismo

El selenio es un micronutriente esencial con gran importancia metabólica (Brown y Arthur, 2001) que tiene impacto en el comportamiento del animal y en la actividad del sistema inmune del mismo (Hall *et al.*, 2014). Este mineral forma parte del sistema antioxidante, formación de hormonas tiroideas y síntesis de ADN, además juega un papel importante en aspectos reproductivos como la fertilidad (Mehdi, Hornick, Istasse y Dufranse, 2013).

El Se es un componente esencial de al menos 12 enzimas, pertenecientes a las familias de glutatión peroxidasa, iotironina 5'-deiodinasa y tiorredoxina

sintetasa (NRC, 2005). La enzima iodotironina 5'-deiodinasa participa en la transformación de T₄ (Tiroxina) a T₃ (Triyodotironina), estas hormonas son fundamentales en la regulación del metabolismo basal, aumentan la disponibilidad de la glucosa, estimulan la síntesis de proteínas e incrementan el metabolismo lipídico en el organismo (NRC, 2001).

Las enzimas del grupo glutatión peroxidasa forman parte del sistema antioxidante del organismo (NRC, 2001). Harmon (1999) menciona que el Se, al formar parte de esta enzima, protege a las células de un daño interno cuando el organismo se encuentra enfrentando una infección. La principal función de las tioredoxina reductasas es realizar una función antioxidante en el control de potencial redox intracelular, así mismo juega un rol importante en la síntesis de ADN y la inhibición de la apoptosis (Mehdi *et al.*, 2013). En la Cuadro 3 se mencionan las principales selenoproteínas, su locación y la función de cada una de ellas.

A pesar de que la deficiencia de Se puede ocurrir en todas las especies, los rumiantes son los animales más susceptibles debido a que el ambiente retículo-ruminal produce formas insolubles de Se. Por otra parte, los microorganismos ruminales utilizan una gran proporción de Se para la producción de selenoaminoácidos (Hefnawy y Tórtora-Pérez, 2010).

La deficiencia de Se está relacionada con la disminución del crecimiento, problemas de fertilidad y de salud del ganado (Juniper, Phipps, Jones y Berlin, 2006). Lindh (2005) y Watts (1994) mencionan que la deficiencia de Se provoca el aumento de la apoptosis hepática en ratas y cerdos; diátesis exudativa, mortalidad embrionaria, y fibrosis pancreática en aves; la enfermedad de Mulberry en cerdos y la enfermedad del músculo blanco y retención de placenta en rumiantes. Suttle (2010) menciona que la deficiencia de Se en vacas lecheras disminuye la producción y aumenta la incidencia de mastitis, debido a la disminución de la expresión y actividad de la selenoproteína glutatión

peroxidasa, provocando que las especies reactivas de oxígeno (ROS) estimulen la apoptosis celular (Miranda *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Principales selenoproteínas en el organismo

Selenoproteína	Ubicación	Función
GPX1 Glutación peroxidasa Citosólica	Citosol y células rojas de la sangre	Antioxidante y almacenamiento de Se
GPX2 Fosfolípido hiperóxido	Membranas intracelulares, principalmente en testículos	Antioxidante intracelular
GPX3 plasmático	Plasma, riñones y pulmones	Antioxidante extracelular
GPX4 gastrointestinal	Mucosa intestinal	Antioxidante en mucosa
GPX5 epidídimo	Epidídimo	Antioxidante débil
SPS-2 Selenofosfatasa sintetasa 2	Ubicuo	Síntesis de selenocisteína
ID1 Iodotironina 5'-deiodinasa tipo I	Hígado, riñón y músculo	Conversión de T4 a T3
ID2 Iodotironina 5'-deiodinasa tipo II	Tejido adiposo café	Conversión de T4 a T3
ID3 Iodotironina 5'-deiodinasa tipo III	Placenta	Conversión de T4 a T3
TR1 y 2Tio redoxina reductasa 1 y 2	Riñones y cerebro	Ciclo de reducción
SePN Selenoproteína N	Músculo	Proliferación celular
SePP Selenoproteína P	Plasma	Transporte y desintoxicante de metales
SePR Selenoproteína R	Hígado y riñones	Metionina sulfóxido reductasa
SePW Selenoproteína W	Músculo	Antioxidante y
MSeP Selenoproteína mitocondrial capsular	Cápsula mitocondrial espermática	Almacenamiento de GPX4

Fuente: Suttle, 2010

En animales recién nacidos, la deficiencia de Se provoca debilidad, inmunosupresión, bajas ganancias de peso y diarreas (Hall *et al.*, 2014). Kamada, Nonaka, Ueda y Murai (2007) mencionan que la deficiencia de Se en becerras recién nacidas disminuye el desarrollo de su sistema inmune y retrasa el desarrollo. Finch y Turner (1996) señalan que en trabajos realizados *in vitro*,

la deficiencia de Se en bovinos reduce hasta un 30% la capacidad de respuesta de los neutrófilos ante una infección de *Escherichia coli*, y hasta un 50% ante una infección por *Staphylococcus aureus*.

2.8 LITERATURA CITADA

- Alvarado, H. (2006). El agua subterránea en la laguna, una visión retrospectiva. *BUENAVAL*, 2, 1-24.
- Amat, S., A. A. Olokowski, M. Atila & T.J. O'Neill. (2013). A review of polioencephalomalacia in ruminants: is the development of malacic lesions associated with excess sulfur intake independent of thiamine deficiency?. *Veterinary Medicine Animal Science*, 1, 1-10.
- Appel, L., D.H. Baker, O. Bar-Or, K.L. Minaker, R. Curtis, M.N. Sawka, S.L. Volpe, M.H. Weinberg, P.K. Whelton, J.H. Erdman, L.H. Allen, S.A. Atkinson, S.I. Barr, B. Caballero, S.A. Miller, W.M. Rand, J.V. Rodricks, R.M. Russell, C.E. Woteki, L.R. Beuchat, S.A. Ferenc, :F. Krebs, S.K. Kumanyika, R. Martorell, L. Parker, N.J. Schork, J.W. Suttie, S.L. Taylor & B.L. Zoumas. (2005). Dietary reference intake for water potassium, chloride and sulfate. Washington D.C.: National Academies Press.
- Arjomandfar, M., M.J. Zamiri, E. Rowghanai, M. Khorvash & Gh. Ghorbani. (2010). Effects of water desalination on milk production and several blood constituents of Holstein cows in a hot arid climate. *Iranian Journal of Veterinary Research*, 11, 233-238.
- Arreguín, F., R. Chavez, P. Soto & P. Smedley. (2009). Una revisión de la presencia de arsénico en el agua subterránea en México. *Revista Tlaloc*, 45.
- Armienta, M., R. Finkelman & H. Rubio-Arias. (2013). Geología médica: su relevancia para México. *Tecnociencia Chihuahua* 7, 152-162.
- Beede, D.K. (1993). Water nutrition and quality for dairy cattle. In: Proceedings of the Western Large Herd Dairy Management Conference, Las Vegas, NV (pp. 194-204).
- Braul, L. & B. Kirychuk. 2001. Water quality matters. Canada: Prairie Farm Rehabilitation Administration.
- Brown, K. M. & J. R. Arthur. (2001). Selenium, selenoproteins and human health: a review. *Public Health Nutrition*, 4(2b):593-599.

- Bull R., M. Aschner, G. Brewer, E. Harris, C. Keen, K. Kelsey, F.W. Sunderman, J. Tsuji & L. Zeise. (2000). Copper in Drinking Water. Washington D.C.: National Academy Press.
- CONAGUA. (2009). Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea acuífero (0523) principal-region Laguna, estado de Coahuila. México D.F.: CONAGUA.
- Danks, D. M. (1988). Copper deficiency in humans. *Annual Review of Nutrition*, 8, 235-257.
- Dawson, P. (2013). Role of sulphate in development. *Society for Reproductive Biology*, 146, 81-89.
- Drewnoski, M., D.C. Beitz, D.D. Loy, S.L. Hansen & S.M. Ensley. (2011). Factors Affecting Ruminal Hydrogen Sulfide Concentration of Cattle. *Animal Industry Report*, 657(1), 11.
- EPA. (2003). Drinking Water Advisory: Consumer Acceptability Advice and Health Effects Analysis on Sulfate. Washington D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- Favela, J., O. Acosta, J. Hernández, & J. Jaimes. (2006). Evaluación de Doxinal-d® como inductor indirecto de inmunidad en becerras Holstein Friesian en la Comarca Lagunera. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 5, 61-66.
- Finch, J.M. & R.J. Turner. (1996). Effect of selenium and vitamin E on the immune response of domestic animals. *Research in Veterinary Science* 60, 97-106.
- Gould, D.H. (1998). Polioencephalomalacia. *Journal of Animal Science*, 76, 309-314.
- Guzmán-Soria, E., A. García-Salazar, S. Mora-Flores, M. Fortis-Hernández, R. Valdivia-Alcalá & M. Portillo-Vázquez. (2006). La demanda de agua en la Comarca Lagunera. *Agrociencia*, 40, 793-804.
- Hall, J. A., G. Bobe, W.R. Vorachek, C. T. Estill, W. D. Mosher, G. J. Pirelli & M. Gamroth. (2014). Effect of supranutritional maternal and colostral selenium supplementation on passive absorption of immunoglobulin G in selenium-replete dairy calves. *Journal of Dairy Science* 97, 4379-4391.
- Hall, J. O. (2012). Sulfur. In: Gupta R. C. (Ed.) *Veterinary Toxicology: basic and clinical principles* (pp. 562-566). U.S.A.: Elsevier.
- Harmon, R.J. (1999). Trace minerals and dairy cattle: Importance for udder health. Dairy Nutrition and Management Conference. Iowa State University.

- Hefnawy, A. E. G. & J. L. Tórtora-Pérez. (2010). The importance of selenium and the effects of its deficiency in animal health. *Small Ruminant Research*, 89,185-192.
- Henry, P.R. & R.D. Miles. (2000). Interactions among trace minerals. *Ciência Animal Brasileira*, 1(2), 95-106.
- Herrera, C. (2012). Comportamiento productivo y reproductivo de vacas Holstein que consumen agua de pozo profundo y de ósmosis inversa (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo, estado de México).
- Higgins, S.F., C.T. Agouridis & A.A. Gumbert. 2008. Drinking Water Quality Guidelines for Cattle. U.S.A: University of Kentucky.
- Hutjens, M. (1999). Importance of trace Minerals in Dairy Heifer, Dry Cow, and Lactating Cow Rations. Disponible en: <http://livestocktrail.illinois.edu/dairynet/paperDisplay.cfm?ContentID=551>. Consultado el 16 de Marzo de 2015.
- Juniper, D.T., R.H. Phipps, A.K. Jones & G. Berlin. (2006). Selenium supplementation of lactating dairy cow: effect on selenium concentration in blood, milk, urine, and feces. *Journal of Dairy Science*, 89, 3544-3551.
- Kamada, H., I. Nonaka, Y. Ueda & M. Murai. (2007). Selenium addition to colostrum increases immunoglobulin G absorption by newborn calves. *Journal of Dairy Science*, 90, 5665-5670.
- Kennedy, E., & E. Lewis. (2011). Rearing healthy calves: Management of cows pre-calving and calves post birth and rearing options. Disponible en: http://www.agresearch.teagasc.ie/moorepark/articles/rearinghealthycalves_s_201101.pdf. Consultado el 16 de Marzo de 2015.
- Leal, M. & S. Gelover. (2002). Evaluación de la calidad del agua subterránea de fuentes de abastecimiento de acuíferos prioritarios de la región Cuencas Centrales del Norte. Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Leal, M. & S. Gelover. (2006). Evaluación de acuíferos de la mesa del norte. In: Sánchez-Salinas, E., M. L. Ortiz-Hernández, B. Macedo-Abarca y M. L. Castrejón-Godínez (Eds.), V Congreso Internacional y XI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. Morelos, México.
- Lindh, U. (2005). Biological functions of elements. In: Selinus, O., B. Alloway, J.A. Centeno, R. B. Finkelman, R. Fuge, U. Lindh & P. Smeldy (Eds.). *Essentials of Medical Geology*. New York: Springer.
- Linn, J. 2008. Impact of minerals in water on dairy cows. Available at <http://www.extension.umn.edu/agriculture/dairy/feed-and-nutrition/impact-of-minerals-in-water/>. Accessed November 06th, 2016.

- Loneragan, G. H., J. J. Wagner, D. H. Gould, F. B. Garry & M. A. Torren. (2011). Effects of water sulfate concentrations on performance, water intake, and carcass characteristics of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 79, 2941-2948.
- Looper, M. & D.N. Waldner. (2002). Water for Dairy Cattle. New Mexico, U.S.A.:New Mexico State University.
- Markovich, D. (2001). Physiological Roles and Regulation of Mammalian Sulfate Transporters. *PHYSIOLOGICAL REVIEWS*, 81, 1500-1527.
- Martínez, A. A. (2003). Manual de crianza de becerras (2da ed.). México: Grupo editores agropecuarios.
- Martínez, J. G., R. Faz, M. Rivera, G. Nuñez & V. Álvarez. (2006). Cambios temporales de metales pesados y nitratos en el acuífero principal de la Comarca Lagunera. *Agrofaz*, 6(3),423-432.
- Mehdi, Y., J. L. Hornick, L Istasse & I. Dufranse. (2013). Selenium in the environment, metabolism and involvement in body functions. *Molecules*, 18, 3292-3311.
- Mejía-González, M., L. González-Hita, R. Briones-Gallardo, A. Cardona-Benavides & P. Soto-Navarro. (2014). Mecanismos que liberan arsénico al agua subterránea de la Comarca Lagunera, estados de Coahuila y Durango, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5, 71-82.
- Miranda, S.G., Y.J. Wang, N.G. Purdie, V.R. Osborne, B.L. Coomber & J.P. Cant. (2009). Selenomethionine stimulates expression of glutathione peroxidases 1 and 3 and growth of bovine mammary epithelial cells in primary culture. *Journal of Dairy Science*, 92, 2670-2683.
- Montemayor-Trejo, J., J.L. Lara-Míreles, J.L. Woo-Reza, J. Munguía-López, M. Rivera-González & R. Trucíos-Caciano. (2012). Producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en tres sistemas de irrigación en la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México. *Agrociencia*, 46, 267-278.
- NRC. (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th Ed.). Washington D.C: National Academy Press.
- NRC. (2005). Mineral Tolerance of Animals (2nd Ed.). Washington D.C.: National Academies Press.
- Rasby, R.J, B.E. Anderson & P.J. Kononoff. (2014). Nitrates in livestock feeding. U.S.A.: University of Nebraska-Lincoln.
- Rojas C., A. (2014). Red de valor: leche de bovino en Coahuila. Disponible en: <https://www.fira.gob.mx/OportunidadNeg/DetalleOportunida.jsp?Detalle=23> Consultado el 27 Mayo de 2015.

- Romero, L. & J. Soto. (2012). Actores sociales y arsénico, la contaminación del agua en la Región Lagunera. *Cienciaviva*, 8, 8-11.
- Sánchez, I., G. Delgado, G. Esquivel, P. Bueno & A. Román. (2013). Huella hídrica de los forrajes en la Comarca Lagunera. In: Pérez, H. R., R. M. Constantino y H. R. Dávila (Eds.) Agua, alimentación y bienestar: La huella hídrica como enfoque complementario de gestión integral del agua en México. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Santamaría, J., D. Reta, J. Cueto, & J. Romero. (2006). Caracterización del medio físico en relación a cultivos forrajeros alternativos para la Comarca Lagunera. Coahuila: INIFAP.
- SIAP. (2014). Boletín de Leche Octubre-Diciembre de 2014. . México, D.F.: SAGARPA
- Skipton, S., B.I. Dvorak & W. Woldt. (2010). Drinking water: Sulfur (Sulfate and Hydrogen Sulfide). Nebraska, U.S.A: University of Nebraska-Lincoln.
- Sneddon, A. (2012). Selenium and its impact on health. Scotland: Food & Health Innovation Service.
- Suttle, N.F. (2010). Mineral Nutrition of Livestock. (4th Ed.). Cambridge, MA. USA.: CABI.
- Watts, D. L. (1994). The nutritional relationship of selenium. *Journal of Orthomolecular Medicine*, 9(2),111-117.
- Weber-Scannell, P.K. & L.K. Duffy. 2007. Effects of total dissolved solids on aquatic organisms: A review of Literature and Recommendations of Salmonid Species. *American Journal of Environmental Science*. 3(1), 1-6.
- Weiss, B. (2014). Excess sulfur and potassium can cause mineral nutrition problems with dairy cows. Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de eXtension: <http://www.extension.org/pages/66367/excess-sulfur-and-potassium-can-cause-mineral-nutrition-problems-with-dairy-cows>
- WHO. 2008. Drinking-Water Quality (3th ed.). Switzerland: World Health Organization.
- Yesca, G. & J. Jaimes. (2010). Evaluación del desarrollo de becerras lecheras de reemplazo Holstein utilizando decoquinato en el control de coccidiosis. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 9, 67-69.

3. DESARROLLO PRE-DESTETE DE BECERRAS HOLSTEIN CON DISTINTA CALIDAD DEL AGUA Y SUPLEMENTACIÓN MINERAL

G. De La Torre-López*, M. Huerta-Bravo*, A. Lara-Bueno*, J.G. García-Muñiz*

Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

3.1 RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la suplementación mineral (Cu a 10 ppm y Se a 0.5 ppm en la dieta) y el tipo de procesamiento de agua (ósmosis inversa vs ninguno) en el desempeño de becerras Holstein en lactancia. Se emplearon 32 becerras recién nacidas y se registró el consumo de alimento, agua y leche. Muestras individuales de sangre y registros de peso vivo se obtuvieron a los 15, 30, 45 y 60 días de edad. El día del experimento afectó ($p>0.05$) el consumo de alimento, agua, leche y peso vivo del animal y las concentraciones sanguíneas de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg Na y K. El consumo de agua y alimento fue afectado ($p<0.05$) por la interacción de día por tipo de procesamiento de agua, sin embargo, el consumo de agua fue afectado por la interacción de día x suplementación mineral. La concentración sanguínea de Cu, y Mg, así como el consumo de alimento, fueron afectados ($p<0.05$) por la interacción de procesamiento del agua x suplementación mineral, sin embargo, la concentración sanguínea de Cu también fue afectada ($p<0.05$) por el tipo de procesamiento de agua. Las becerras que bebieron agua procesada y recibieron suplementación mineral presentaron las mayores concentraciones de Cu en sangre. El peso vivo, la concentración sanguínea de Fe y Na fueron afectados ($p<0.05$) por la suplementación mineral. Las becerras con suplementación mineral presentaron mayores pesos al día 60 ($p<0.05$). Los resultados sugieren que suplementar con Cu y Se mejoran el peso vivo de los animales e incrementa las concentraciones sanguíneas de Cu y Fe. Así mismo, al procesar el agua con equipos de ósmosis invesa se mejora el consumo de agua y alimento.

Palabras clave: suplementación mineral, procesamiento del agua, consumo, concentración mineral.

Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera. Programa de Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Gustavo De La Torre López
Director de Tesis): Maximino Huerta Bravo

3.2 ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the effect of a mineral supplementation (10 ppm of Cu and 0.5ppm of Se) and water processing type (inverse osmosis water vs. no processing) on the overall performance of lactating Holstein female calves. Female calves (n = 32) of one day of age were used, and daily intakes of feed, water and milk were registered. Individual blood samples and live weight records were obtained at 15, 30, 45, and 60 days of age. The day of the experiment affected ($p<0.05$) feed intake, milk intake, water intake, and live weight, also blood concentrations of Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, and K were affected by day. Water and feed intake was also affected ($p<0.05$) by day x mineral supplementation interaction. Blood concentrations of Cu and Mg, and feed intake, were affected ($p<0.05$) by water processing x mineral supplementation. However, Cu blood concentration was also affected ($p<0.05$) by water processing. The calves that drank processed water plus mineral supplementation presented higher Cu blood concentrations. Live weight, blood concentrations of Fe and Na were affected ($p<0.05$) by mineral supplementation. Calves with mineral supplementation presented higher live weights at 60 days of life ($p<0.05$). the results suggest that supplementing Cu and Se improve live weights. Moreover, water processing by inverse osmosis enhanced water and feed intakes.

Keys words: mineral supplementation, water processing, intakes, mineral concentrations

3.3 INTRODUCCIÓN

El desarrollo pre-destete de becerras es una de las fases más importantes en las explotaciones lecheras y representa uno de los mayores retos de la ganadería actual (Favela *et al.*, 2006). El éxito de esta operación depende de factores como una pobre salud maternal, distocia, mal manejo de calostro, mala nutrición (Teixeira *et al.*, 2014) y consumo de agua de mala calidad (NRC, 2001).

Las becerras deben tener acceso a agua limpia y fresca para asegurar el consumo del líquido durante periodos de estrés calórico, fiebre o bien para estimular el consumo de alimento iniciador (Martínez, 2003); sin embargo, la ingesta de agua de mala calidad puede afectar el desarrollo de los animales (Braul y Kirychuk, 2001).

Dependiendo de cuál sea el origen del agua que bebe el ganado, los efectos que ésta provocará serán diferentes. En el caso de las fuentes de aguas subterráneas es común encontrar problemas originados por sólidos disueltos totales (SDT), nitratos (NO_3), Fe, Mn, sulfatos (SO_4^{2-}) (Braul y Kirychuk, 2001) y dureza total (DT) (Higgins *et al.*, 2008).

El consumo de agua con concentraciones de SDT superiores a 3,000 ppm pueden provocar diarreas, sin embargo, el consumo de agua con concentraciones de SDT son de 3,000 a 5,000 ppm puede disminuir la producción en ganado lechero, principalmente en episodios de estrés calórico (Linn, 2008). Las concentraciones elevadas de DT se deben a la presencia de Ca y Mg principalmente (WHO, 2008; Higgins *et al.*, 2008), así como a las concentraciones de metales como Fe, Mn, Zn, Al y Sr (Linn, 2008). Aguas con dureza elevada debido a la presencia de metales como Fe (0.3mg/L) afecta la absorción de Cu y Zn en los animales. Elevadas concentraciones de NO_3 y NO_2 puede provocar crecimiento retrasado en los animales, infertilidad, abortos y problemas en la absorción de vitamina A (NRC, 2001), así como asfixias y

dificultad para respirar, convulsiones, incoordinación y diarrea (Rasby *et al.*, 2014).

La intoxicación por exceso de SO_4^{2-} en agua en rumiantes provoca la disminución de Cu en hígado, diarrea, disminución de consumo de alimento y crecimiento (Loneragan *et al.*, 2011), dolor abdominal, acidosis metabólica, y hemorragia del tracto respiratorio y digestivo (Hall, 2012), así mismo, reduce la biodisponibilidad de algunos minerales como Cu, Mo, Fe, Se y Zn (Amat *et al.*, 2013).

Debido a las altas concentraciones de SO_4^{2-} y otros componentes de aguas subterráneas, las becerras son afectadas por la deficiencia de minerales traza (Kennedy y Lewis, 2011), principalmente minerales como Zn, Fe, Cu y Se, que influyen directamente en el sistema inmune de la cría (Hutjens, 1999). El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto de la suplementación mineral con Cu y Se y el tipo de procesamiento del agua (procesada por ósmosis inversa vs ninguno) y sobre el desarrollo pre-destete de terneras Holstein.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Localización

El estudio se realizó durante el periodo comprendido del 7 de junio al 18 de agosto en el establo “Gibraltar”, ubicado en el municipio de Lerdo, Durango, en la región de la Comarca Lagunera. Esta región se ubica entre $101^\circ 41'$ y $104^\circ 61'$ O, y $24^\circ 59'$ y $26^\circ 53'$ N; presenta un clima seco desértico con lluvias en verano e invierno seco y frío; cuenta con una precipitación y evaporación promedio anual de 258 mm y 2,000 mm, respectivamente; presenta una temperatura media anual de 21°C (Montemayor-Trejo *et al.*, 2012). Esta región se caracteriza por presentar el lapso de mayo a agosto como los meses más calurosos del año (López-Martínez *et al.*, 2006).

3.4.2 Animales, alimentación y manejo

Se evaluaron 32 becerras Holstein, las cuales fueron monitoreadas desde el nacimiento hasta los 60 días de vida. Los animales fueron alojados en jaulas individuales fijas. El manejo que recibieron los animales fue el siguiente: tres tomas de 2 L de calostro en las primeras 24 horas de vida; del día dos hasta el día 60 los animales recibían leche entera, la cual era suministrada a las 8 y 15 h en cubetas metálicas tipo americanas del N°6. EL consumo de leche aumentó de acuerdo a la capacidad de consumo del animal. Cuando el animal terminaba de consumir la leche ofrecida, las cubetas fueron lavadas con agua con una concentración de cloro menor al 2%. Una vez limpias las cubetas, a los animales se les ofreció agua fresca, la cantidad ofrecida dependía de la capacidad del consumo del animal. A partir del tercer día de vida, a los animales se les ofreció alimento sólido, el cual consistió en un concentrado comercial (NUPLEN® Iniciador 450), la cantidad de alimento ofrecido dependió de la capacidad de consumo del animal.

3.4.3 Diseño experimental y tratamientos

Los 32 animales se agruparon en cuatro tratamientos, resultando ocho animales por tratamiento. El experimento se realizó bajo un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2x2x4, con y sin suplemento mineral, agua procesada y no procesada y cuatro edades de las terneras, 15, 30, 45 y 60 días, considerando a cada becerro como unidad experimental. Los tratamientos consistieron en una suplementación mineral de Cu a 10 ppm, utilizando como fuente Cu_2SO_4 , y Se a 0.5 ppm, utilizando como fuente Na_2SeO_3 , por kg de alimento consumido por animal por día y la administración de agua procesada por ósmosis inversa y no procesada. La suplementación de Cu y Se fue constante a través de todo el periodo experimental, la suplementación se dosificó utilizando jeringas automáticas. El agua purificada se obtuvo con un purificador de ósmosis inversa marca Rotoplas®, el agua purificada se almacenó en un tanque de plástico con capacidad de 200 L.

3.4.4 Registro de consumo de agua, leche y alimento

Se registró diariamente el consumo de agua, leche y de alimento de los animales. El consumo de agua se registró dos veces al día, a las 7 y 15 h. El primer registro se realizó a las 7 h, justo antes de que los animales recibieran leche. El agua ofrecida se transportada en tinas de plástico con capacidad para 20 L; posteriormente, para ser servida en la tina de cada animal, era medida con jarras plásticas comerciales graduadas con capacidad de 4 L. El rechazo de agua fue medido con un recipiente graduado con capacidad de 1 L. El consumo de agua fue la diferencia de lo ofrecido menos lo rechazado.

El consumo de leche se registro diariamente dos veces por día, a las 8 y 14 h. El primer registro se realizó a las 8 h. La leche ofrecida se transportada en tinas de plástico con capacidad para 20 L; posteriormente, la leche que iba a ser servida, era medida con jarras plásticas comerciales graduadas con capacidad de 4 L. El rechazo de leche fue medido con un recipiente graduado con capacidad de 1 L. El consumo de leche fue la diferencia de lo ofrecido menos lo rechazado.

El alimento se ofreció dos veces al día, a las 8 y 15 h. La cantidad de alimento ofrecido a las 15 h dependió de la cantidad del alimento que el animal había consumido en el periodo comprendido entre las 8 y 15 h. El alimento ofrecido de cada animal fue pesado en la balanza granataria y se depositó en bolsas de papel canela con capacidad de 1 kg para posteriormente servirlo en tina. El rechazo de alimento solo se registraba una vez al día a las 7 h. El rechazo se almacenó en bolsas de plástico con capacidad para 500 g y posteriormente fué pesado en balanza granataria. El consumo de alimento fue la diferencia de lo ofrecido menos lo rechazado.

3.4.5 Toma de muestras de agua, temperatura del agua y registro de temperatura ambiental

Se tomaron muestras de agua directamente de la fuente de abastecimiento para el área de crianza, así como del tanque de agua purificada. Las muestras de agua se tomaron cada 15 días a partir del inicio del experimento. Las muestras de agua fueron depositadas en botellas plásticas con capacidad de 500 ml.

Se registró diariamente la temperatura ambiental y la humedad relativa durante lapsos de dos horas iniciando desde las 7 hasta las 18 h. La temperatura y humedad relativa se registraron con un termómetro ACURITE® con sensor resistente al agua. La temperatura del agua fue registrada con un termómetro digital marca CASIO® con sensor de acero inoxidable. El índice temperatura-humedad se obtuvo utilizando la ecuación recomendada por Chen et al. (2016).

3.4.6 Toma de muestras de sangre y registro del peso de los animales

A cada uno de los animales se le tomaron 4 muestras de sangre: a los 15, 30, 45 y 60 días de edad. Las muestras de sangre se obtuvieron mediante venopunción yugular utilizando tubos con vacío y agujas (Vacutainer®, Becton Dickinson de México, S.A. de C.V.). Se extrajeron aproximadamente 20 mL por cada animal en cada uno de los muestreos. Las muestras de sangre fueron centrifugadas a 2,500 rpm durante 15 minutos. Una vez extraído el suero, las muestras fueron almacenadas a -20°C hasta su procesamiento para la determinación de minerales.

El peso de los animales fue estimado utilizando una cinta métrica midiendo el perímetro torácico por detrás de la espalda, desde la cruz hasta el esternón, el peso de los animales se estimó cada 15 días, desde el día de nacimiento hasta los 60 días de edad. El peso fue estimado justo después de extraer la muestra de sangre de cada uno de los animales.

3.4.7 Análisis de laboratorio

Para las muestras de sangre, las técnicas utilizadas para la preparación de muestras para la medición de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na y K fueron las recomendadas por Fick *et al.* (1979). Las concentraciones de estos minerales fueron determinadas mediante el uso de un espectrofotómetro de absorción atómica marca PerkinElmer® modelo AAnalyst 700.

Para la medición de sulfatos en las muestras de agua, se siguió la técnica establecida en la Norma Mexicana NMX-AA-074-SCFI-2014 con un espectrofotómetro UV-VIS (PerkinElmer®, modelo Lambda 35) a una longitud de onda de 420 nm. Así mismo, para la determinación de Dureza Total (DT) se empleó la metodología recomendada por la NMX-AA-072-SCFI-2001. La determinación de Sólidos Totales Disueltos (STD) y conductividad eléctrica se realizó con un conductómetro S41 CORNING PINADE®. Para el análisis de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na y K, se preparó la muestra siguiendo la técnica recomendada por Perkin-Elmer (1996).

3.4.8 Análisis estadístico

Las variables de respuesta fueron las concentraciones sanguíneas de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na y K, a los 15, 30, 45 y 60 días del experimento, así como consumo de alimento, agua y leche promedio de los días 0, 15, 30, 45 y 60 día? y ganancia de peso promedio de los 15, 30, 45 y 60 días. Los efectos fijos fueron fuente de agua, suplementación mineral y día, mientras que el efecto aleatorio fue becerro dentro del tratamiento. Las variables de respuesta, así como ITH, se evaluaron utilizando el procedimiento MIXED de SAS (SAS, 2013), las variables de calidad para agua procesada y no procesada se evaluaron utilizando el procedimiento GLM de SAS (2013). El modelo estadístico para consumo de leche, agua y alimento, así como para peso vivo y concentración mineral en suero fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + SM_i + A_j + T_k + (SM*A)_{ij} + (SM*T)_{ik} + (A*T)_{jk} + (A*SM*T)_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} : Consumo de leche, agua, alimento, peso vivo y concentración sanguínea de minerales.

μ : media general

SM_i : efecto de la i -ésima suplementación mineral

A_j : efecto del j -ésimo tipo de agua suplementada

$(SM*A)_{ij}$: efecto de la interacción entre la i -ésima suplementación mineral y j -ésimo tipo de agua suplementada

$(SM*T)_{ik}$: efecto de la interacción entre la i -ésima suplementación mineral y k -ésimo día

$(A*T)_{jk}$: efecto de la interacción entre el j -ésimo tipo de agua suplementada y el k -ésimo día.

$(SM*A*T)_{ijk}$: efecto de la interacción entre la i -ésima suplementación mineral, el j -ésimo tipo de agua y k -ésimo día.

ϵ_{ijk} : error experimental

Para el contenido de Cu, Fe, Zn, Ca, K y Na en agua, así como, SO_4^{-2} , dureza, conductividad eléctrica y SDT, el modelo fue:

$$Y_i = \mu + D_i + \epsilon_i$$

Dónde:

Y_i : el contenido de Cu, Fe, Zn, Mg, Ca, K y Na, SO_4^{-2} , DT, conductividad eléctrica y STD en agua

D_i : efecto del i -ésimo procesamiento del agua

ϵ_i : corresponde al error experimental en la i-ésima medición

Los modelos de ajuste de curvas y tendencias se realizaron utilizando las ecuaciones de polinomios de Legendre de primero a cuarto grado, posteriormente el mejor modelo se seleccionó con base al criterio de Akaike's AIC.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Calidad del agua

Al someter el agua a procesamiento de ósmosis inversa, las concentraciones de SO_4^{2-} , K y Na disminuyeron ($p < 0.01$) en comparación con el agua no procesada (Cuadro 4). Así mismo, la reducción de Ca mediante ósmosis inversa fue alta, a tal grado que no fue posible detectarlo con la técnica utilizada. Las reducciones de estos componentes provocaron que las concentraciones de SDT, dureza y conductividad disminuyeran ($p < 0.01$). Sin embargo, las concentraciones de Cu y Zn no fueron afectadas ($p > 0.05$) por el procesamiento de ósmosis inversa.

Cuadro 4. Medias para las concentraciones de agua de pozo con o sin procesamiento mediante ósmosis inversa .

Tipo de procesamiento	SO_4^{2-}	K	Na	Ca	Cu	Zn	SDT	Dureza	Conductividad
	mg L ⁻¹								μS/cm
Ninguno	1158	4.68	134	65	0.017	0.075	828	688	1654
Ósmosis inversa	10	0.19	6.5	ND ^y	0.021	0.090	30	10	60
EEM ^w	205	0.19	17	-	0.003	0.05	95	62	193
Probabilidad	<0.01	<0.01	<0.01	-	0.361	0.841	<0.01	<0.01	<0.01

^yND = No determinado

^wEEM = Error estándar de la media

^x SO_4^{2-} = Sulfatos

^ySDT = Sólidos disueltos totales

^zDureza = expresada como equivalentes de carbonato de calcio (CaCO_3)

Ventura (2006) y Herrera (2012) obtuvieron resultados similares de mejoramiento de la calidad del agua con ósmosis inversa, en trabajos realizados en la Comarca Lagunera en el estable "18 de Julio". Ventura (2006)

encontró que con el uso de ósmosis inversa, la concentración de sulfatos y dureza STD disminuyeron de 853 ± 13 ppm y $1,469 \pm 75$ ppm a 24 ± 10 ppm y 107 ± 31 ppm respectivamente. Por otra parte, Herrera (2012) encontraron que sometiendo el agua a tratamiento de ósmosis inversa, las concentraciones de sulfatos, SDT y Ca disminuyeron de 717.14 ppm y 1810 ppm a 132 ppm y 553 ppm respectivamente.

Looper and Waldner (2002) mencionan que los límites permisibles para SDT en ganado adulto deben de estar por debajo de las 3,000 ppm. Las concentraciones de SDT en el presente estudios están bajo los parámetros que recomiendan estos autores para ganado adulto, sin embargo, para ganado joven, principalmente para animales recién nacidos, no existe límites bien establecidos para este parámetro.

Según la clasificación de NRC (2001), el agua de pozo empleada en el presente estudio es agua con alta dureza (>180 ppm), sin embargo, una vez sometida al proceso de ósmosis inversa el agua se clasifica como muy suave (0-60 ppm).

NRC (2001) menciona que concentraciones mayores de 500 ppm de sulfatos en agua pueden provocar problemas en los animales que consuman esa agua, tales como diarreas, reducir el alimento y afecta el desarrollo del animal (NRC, 2001; Herrera (2012). EL agua de pozo del presente estudio presentó concentraciones de sulfatos por encima de la recomendada por NRC (2001), sin embargo, una vez sometida al proceso de ósmosis inversa las concentraciones de sulfato disminuyeron considerablemente. Los minerales presentes en agua de pozo como en agua tratada con ósmosis inversa están dentro de las recomendaciones hechas por Linn y Raeth-Knight (2010) y Beede (2006).

3.5.2 Índice Temperatura-Humedad

Los índices de temperatura-humedad (ITH) durante el estudio (Cuadro 5) fueron afectados ($p < 0.05$) por la hora y el día en que fueron registrados. Sin embargo,

la interacción hora x día no fue significativa ($p>0.05$). De acuerdo a Kadzere et al. (2002) en ganado lactante, los valores de ITH de 75 a 78 se consideran estresantes, y valores por encima de 78 se consideran extremadamente estresantes. En todas las mediciones realizadas del ITH existió estrés por calor. El ITH tuvo el registro más alto el día 30, y los más bajos los días 0 y 60. Mientras que durante los días 15 y 45 el ITH fue intermedio y similares entre sí.

Cuadro 5. Comportamiento del ITH a través del día por hora (junio a agosto de 2014)

Hora	Día					Promedio hora ^z
	0	15	30	45	60	
07:30	70.9	69.7	70.5	70.1	70.1	70.3 ^b
09:30	71.4	69.5	70	71.3	74.1	71.1 ^b
11:30	71.6	74.7	81.3	74.0	70.7	74.6 ^{ab}
13:30	70.5	75.9	80.3	78.1	79.9	76.5 ^a
15:30	72.9	75.8	80.3	77.3	79.5	76.9 ^a
17:30	67.7	72.1	77.5	71.1	62.6	70.5 ^b
Promedio día ^y	70.8 ^b	72.9 ^{ab}	76.6 ^a	73.6 ^{ab}	72.7 ^b	

^yMedias en la misma hilera sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p\leq 0.05$). Error estándar de la media para día = 0.99

^zMedias en la misma columna sin una literal en común son diferentes (Tukey, $p\leq 0.05$). Error estándar de la media para hora = 1.1

Jones y Heinrichs (2013) mencionan que las becerras tienen una mayor capacidad de soportar altas temperaturas debido a que presentan una mayor área de superficie relativa a su peso vivo y a una menor producción de calor. Sin embargo, Roland et al. (2016) mencionan que el estrés térmico tiene un efecto negativo en el bienestar animal, aumenta la tasa de mortalidad y morbilidad, disminuye la ganancia de peso y consumo de alimento, y aumenta el consumo de agua.

Jones y Heinrichs (2013) señalan que es necesario proveer al animal de buena superficie de sombra, agua fresca y una adecuada ventilación. Hill *et al.* (2010) señala que una estrategia viable para reducir el efecto del estrés calórico sobre el animal es el uso de abanicos, ya que pueden mejorar la ganancia diaria de peso y la eficiencia alimenticia en un 23 y 20%, respectivamente.

3.5.3 Efectos principales sobre el consumo de agua, leche, alimento y peso vivo

En el Cuadro 6 se presentan las probabilidades de los efectos principales (día, fuente de agua y suplementación mineral) y la interacción de los mismos sobre el consumo de leche, agua y alimento, así como de peso vivo. El día del experimento afectó ($p < 0.05$) estas cuatro variables. El consumo de agua también fue afectado por las interacciones de día x tipo de agua y día x suplemento mineral. El consumo de alimento fue afectado ($p < 0.05$) por la interacción día x tipo de agua y tipo de agua x suplemento mineral. Así mismo, el peso vivo también fue afectado ($p < 0.05$) por el suplemento mineral.

Cuadro 6. Probabilidades de efectos principales y sus interacciones sobre el consumo de leche, alimento, agua y peso vivo.

Variable	Día	Tagua ^u	Min ^v	Día*Tagua ^w	Día*Smin ^x	Tagua*Min ^y	Día*Tagua*Smin ^z
Consumo de:							
Leche	<0.01	0.67	0.53	0.89	0.99	0.74	0.82
Agua	0.01	0.38	0.50	0.01	0.01	0.54	0.10
Alimento	0.01	0.97	0.68	0.03	0.56	0.052	0.69
Peso vivo	<0.01	0.59	0.01	0.90	0.08	0.76	0.16

^u Tagua = tipo de procesamiento de agua (ninguno vs ósmosis inversa)

^v Smin = suplementación mineral (Con suplementación mineral vs Sin suplementación mineral)

^w Día*Tagua = Efecto de la interacción día por tipo de agua

^x Día*Min = Efecto de la interacción día por suplementación mineral

^y Tagua*Smin = Efecto de la interacción de tipo de agua por suplementación mineral

^z Día*Tagua*Smin = Efecto de la interacción de día por tipo de agua por suplementación mineral

En la Figura 1 se presenta la tendencia de los consumos de leche, agua y alimento, y el peso vivo durante el experimento. Tanto el consumo de leche como de agua presentan un comportamiento lineal a través del tiempo. A diferencia del consumo de leche y de agua, el consumo de alimento presenta un comportamiento cuadrático, en el cual se alcanza un máximo consumo de alimento y posteriormente tiende a mantenerse o bien a disminuir. El cambio de peso vivo presenta un comportamiento cúbico, sin embargo, a través del tiempo, se muestra efecto por la suplementación mineral, siendo los grupos que recibieron suplementación mineral los que tuvieron un mayor peso vivo.

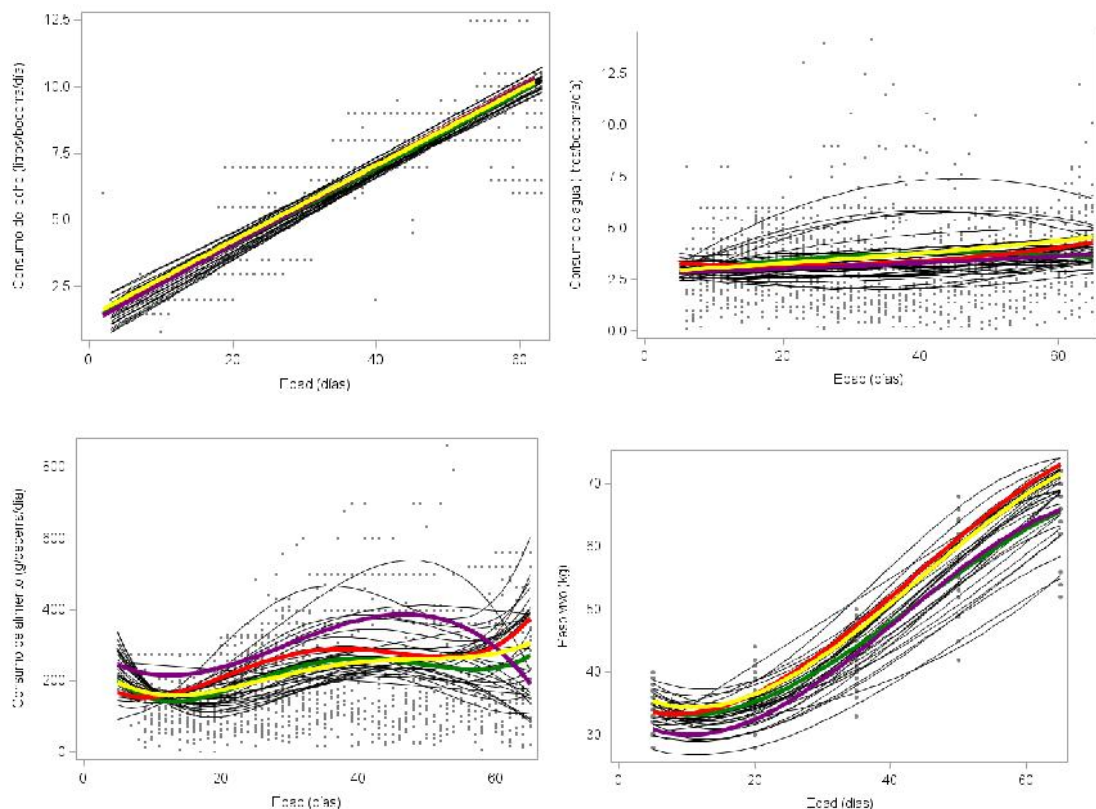


Figura 1. Tendencia del consumo de leche, agua, alimento y peso vivo por tratamiento. ■ = Agua no procesada*Sin suplementación; ■ = Agua no procesada*Con suplementación; ■ = Agua procesada por ósmosis inversa*Sin suplementación; ■ = Agua procesada por ósmosis inversa*suplementación.

En la mayoría de los establos lecheros de la Comarca Lagunera, la cantidad de leche que se ofrece a las becerras varía en función a la capacidad de consumo

de los animales. En el presente estudio, la cantidad de leche que se ofreció aumentó conforme el animal incrementaba su peso vivo. Khan *et al.* (2011) mencionan que los animales que consumen leche de manera restringida tienden a presentar comportamiento de hambre, sin embargo, cuando se ofrece leche *ad libitum*, el animal puede consumir hasta el equivalente al 20% de su peso vivo por día en leche.

A diferencia de estudios como el que presentan Jasper y Weary (2002), en el cual mencionan que los animales que consumen leche *ad libitum* llegan a consumir hasta 9 kg de leche en los primeros cuatro días de vida y que los animales que tuvieron consumo restringido de leche apenas alcanzaban a consumir 5.7 kg hasta los 36 días de vida. En el presente estudio, los animales llegaron a consumir hasta 6.88 y 8.26 kg de leche a los 30 y 60 días de vida respectivamente.

El consumo de agua fue afectado ($p < 0.05$) por la interacción de días x tipo de procesamiento de agua. En la Figura 2 se aprecia que el consumo de agua procesada por ósmosis inversa tiende a disminuir ($p < 0.05$) del día 15 al 30 y posteriormente, del día 45 al 60 el consumo de agua aumenta ($p < 0.05$). El consumo de agua fue similar ($p > 0.05$) en los días 30 y 45. El consumo de agua no procesada no presenta diferencias ($p > 0.05$) a través del tiempo.

Por otra parte, el consumo de agua entre tipo de procesamiento presenta diferencias significativas ($p > 0.05$) en los días 30 y 45 en los cuales el agua con ningún tipo de procesamiento presentó un mayor consumo. No existió diferencia ($p > 0.05$) entre consumo de agua debido al tipo de procesamiento en los días 15 y 60.

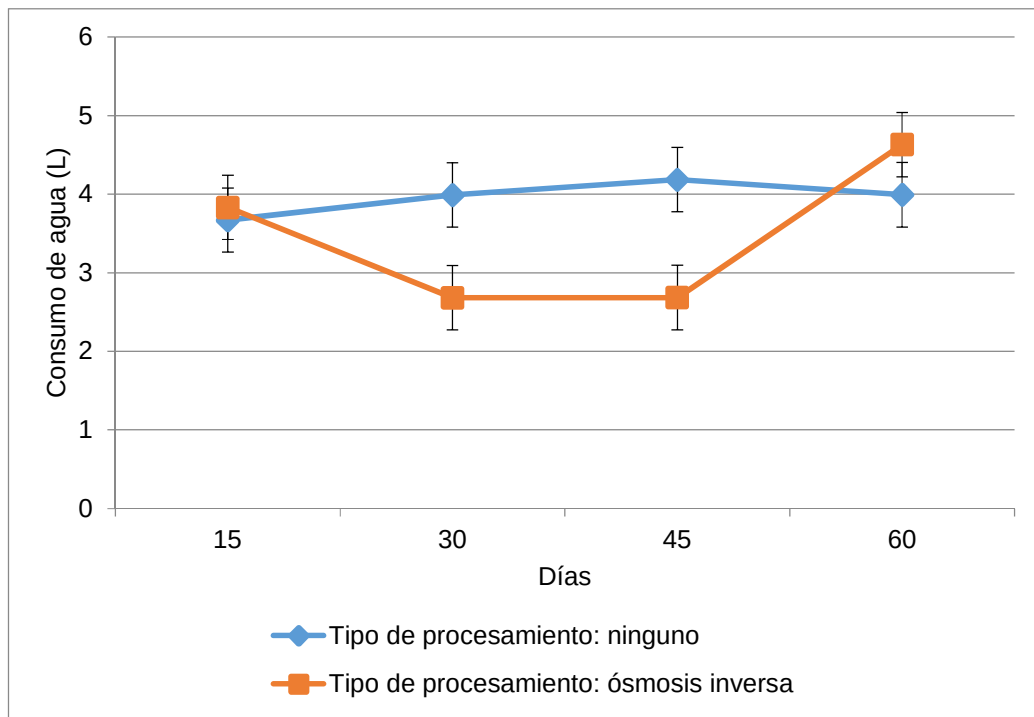


Figura 2. Efecto de la interacción día y procesamiento de agua en el consumo de agua en becerras

En la Figura 3 se puede observar el comportamiento del consumo de agua bajo la interacción de días por suplementación mineral. El grupo de animales con suplementación mineral solo presentaron diferencia ($p < 0.05$) en el día 60, siendo los días 15, 30 y 45 similares entre sí ($p > 0.05$). El grupo de animales sin suplementación no presentaron diferencia ($p > 0.05$) en el consumo de agua durante la duración del experimento. Por otra parte, solo existió diferencia ($p > 0.05$) entre tratamientos en el día 60, siendo todos los demás días similares ($p > 0.05$).

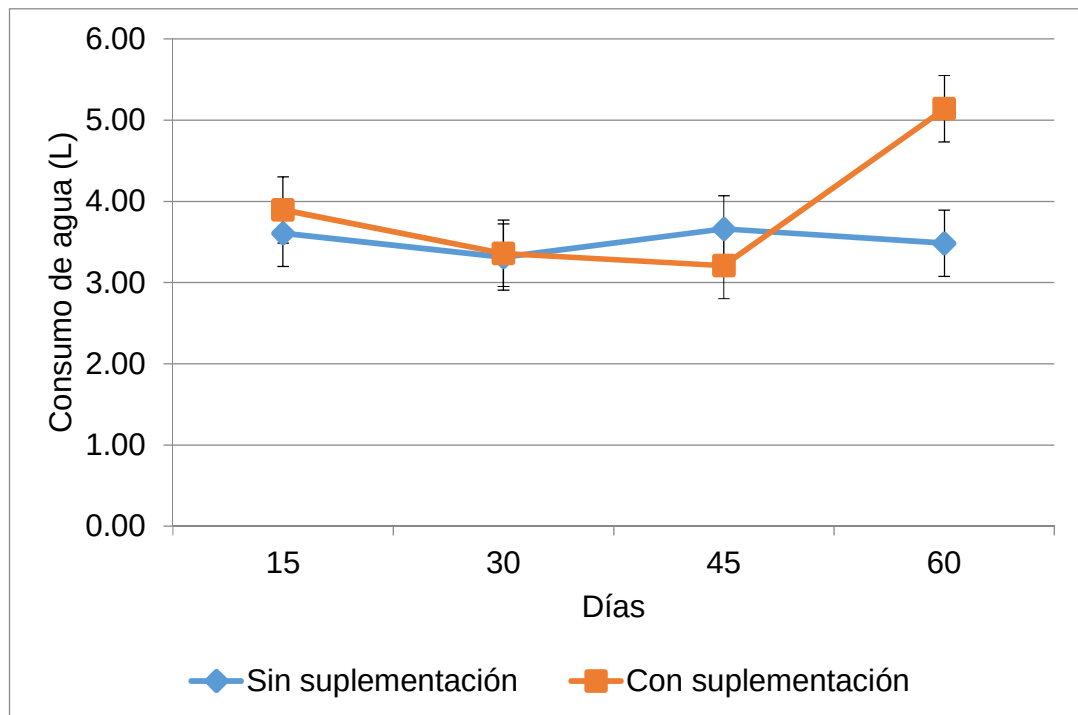


Figura 3. Efecto de la interacción día x suplementación en el consumo de agua en becerras

En trabajos realizados por de Passillé *et al.* (2010) y Huuskonen *et al.* (2011) mencionan que las becerras presentan un consumo de agua bajo (menor a dos litros) durante las primeras 6 semanas de vida. En el presente estudio, los animales bebieron en promedio 3.74 y 4.43 L a los días 15 y 60 días de vida respectivamente, niveles superiores a los que reportaron estos autores.

Si bien, Loopen y Waldner (2002) mencionan que los requerimientos de agua en becerras se cubren por el consumo de agua o sustituto de leche, se ha demostrado que ofrecer agua a libre acceso mejora el consumo de alimento y ganancia de peso (Huuskonen *et al.*, 2011). Sin embargo, también es necesario tomar en cuenta las condiciones climáticas a las que están expuestos los animales, principalmente bajo las condiciones en las que se elaboró el presente estudio, en el cual se tienen consumos de agua de más del doble que reportan

otros autores (Thomas *et al.*, (2007); Loopen y Waldner (2002); Huuskonen *et al.* (2011); Passillé *et al.* (2010) debido probablemente a estrés por calor.

El consumo de alimento fue afectado ($p < 0.05$) por la interacción de día x fuente de agua. En la Figura 4 se observa que el consumo de alimento en animales que consumieron agua sin ningún tipo procesamiento no presentaron diferencia ($p > 0.05$) durante la duración del experimento. Por otra parte, los animales que consumieron agua procesada por ósmosis inversa solo presentaron diferencia ($p < 0.05$) en el consumo de alimento en el día 15. Así mismo, solo hubo diferencias ($p < 0.05$) en el consumo de alimento entre los animales que bebieron agua sin ningún tipo de procesamiento y agua procesada por ósmosis inversa en el día 15.

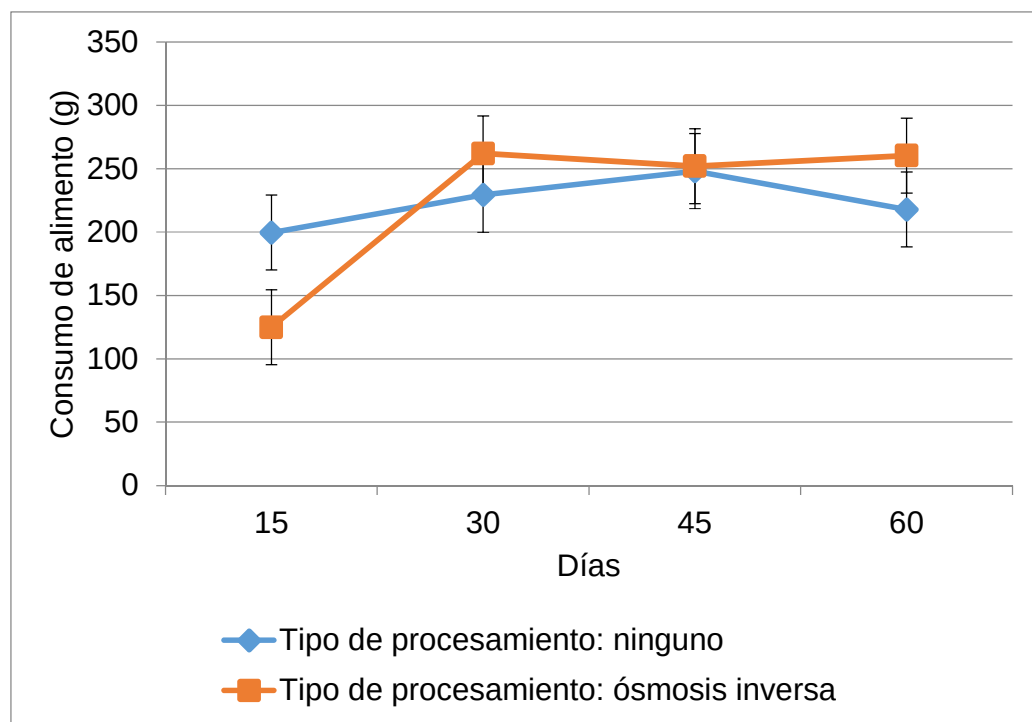


Figura 4. Efecto de la interacción día x procesamiento de agua en el consumo de alimento en becerras

La interacción tipo de procesamiento de agua x suplementación no fue significativa (Fig. 5; $p=0.052$), pero tendió a incrementar el consumo de alimento en 30% en becerras que recibieron agua procesada mediante ósmosis inversa en comparación con agua sin procesamiento, y sin suplemento mineral. Una disminución del 23% sucedió cuando se utilizó suplemento mineral.

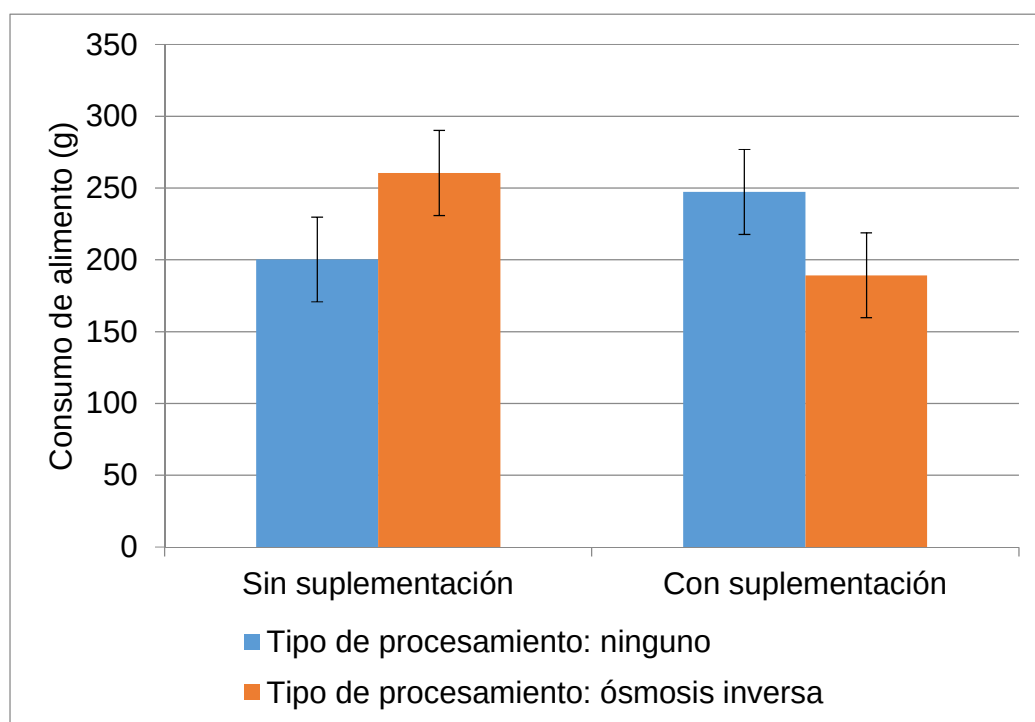


Figura 5. Efecto de la interacción procesamiento de agua y suplementación en el consumo de alimento en becerras

De manera similar al presente trabajo de investigación, Ventura (2006) encontró que mediante el procesamiento de agua con altos niveles de SDT y sulfatos, se mejoró el consumo de alimento hasta en un 26% en comparación con animales que consumieron agua que no recibió ningún tipo de procesamiento. Sin embargo, Herrera (2012) encontró que ganado lechero adulto que bebía agua tratada por ósmosis inversa consumió 9% menos de materia seca en

comparación de animales que consumieron agua sin ningún tipo de procesamiento.

De la misma manera al presente trabajo de investigación, Vázquez-Añón *et al.* (2007) no encontraron efecto significativo en el consumo de materia seca por efecto de suplementación mineral (Cu, Mn y Zn) en animales Gelbvieh x Angus destetados que consumían agua con altos niveles de sulfatos ($1,646 \text{ mg L}^{-1}$). Resultados similares fueron reportados por Osorio *et al.* (2012).

En la Figura 6 se observa el comportamiento del cambio del peso vivo bajo el efecto de la suplementación mineral. Aun cuando el peso vivo al nacimiento fue diferente ($p < 0.05$) entre los grupos, esta diferencia se incrementó durante todo el proceso experimental, siendo los animales que recibieron suplementación mineral los que presentaron mayores pesos vivos.

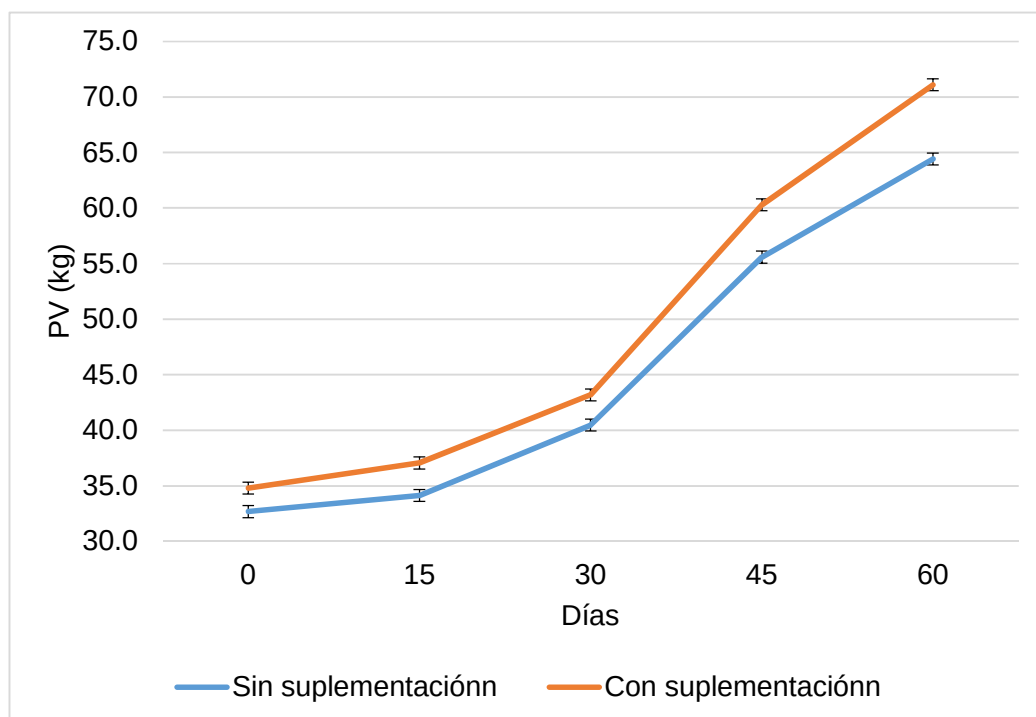


Figura 6. Efecto de la suplementación en el cambio de peso vivo de las becerras

En el presente trabajo de investigación se encontró que a los 60 días de vida de los animales, el grupo de animales que recibieron suplementación mineral incrementaron en 7 kg mas el peso corporal comparado con animales que no recibieron suplementación mineral. Sin embargo, a diferencia de los resultados encontrados, Naseri *et al.* (2011) encontraron que no se encontró efecto de la suplementación mineral en el peso vivo y la ganancia diaria de peso en becerras Holstein.

3.5.4 Efectos principales sobre la concentración mineral en suero sanguíneo

En el Cuadro 7 se muestran las probabilidades de los efectos principales (día, fuente de agua y suplementación mineral) y la interacción de los mismos sobre las concentraciones sanguíneas de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg Na y K. Las concentraciones de todos los minerales fueron afectadas ($p < 0.05$) por el día del experimento. Las concentraciones sanguíneas de Cu fueron afectadas ($p < 0.05$) por el tipo de procesamiento del agua y por la interacción del tipo de procesamiento x suplementación mineral. Las concentraciones de Fe fueron afectadas ($p < 0.05$) por la suplementación mineral. Así mismo, la interacción procesamiento de agua x suplementación mineral afectó ($p < 0.05$) las concentraciones sanguíneas de Mg. Así mismo, la suplementación mineral afectó ($p < 0.05$) las concentraciones sanguíneas de Na. En las Figuras 7 y 8 se aprecia la tendencia del comportamiento de las concentraciones de los todos los minerales bajo cada tratamiento.

Cuadro 7. Probabilidades de efectos principales y sus interacciones sobre la concentración mineral en suero sanguíneo de becerras

	Día	Tagua ^u	Smin ^v	Día*Tagua ^w	Día*Smin ^x	Tagua*Min ^y	Día*Tagua*Smin ^z
Cu	<0.01	0.01	0.27	0.89	0.93	0.03	0.18
Fe	<0.01	0.48	0.02	0.15	0.15	0.13	0.58
Zn	0.01	0.98	0.47	0.46	0.86	0.12	0.68
Ca	<0.01	0.49	0.74	0.84	0.39	0.29	0.67

Mg	0.01	0.09	0.61	0.35	0.86	0.01	0.92
Na	0.01	0.78	0.02	0.58	0.18	0.27	0.47
K	<0.01	0.91	0.80	0.77	0.10	0.12	0.09

^u Tagua = tipo de procesamiento de agua (ninguno vs ósmosis inversa)

^v Smin = suplementación mineral (Con suplementación mineral vs Sin suplementación mineral)

^w Día*Tagua = interacción día por tipo de agua

^x Día*Min = interacción día por suplementación mineral

^y Tagua*Smin= interacción de tipo de agua por suplementación mineral

^z Día*Tagua*Smin= interacción de día por tipo de agua por suplementación mineral

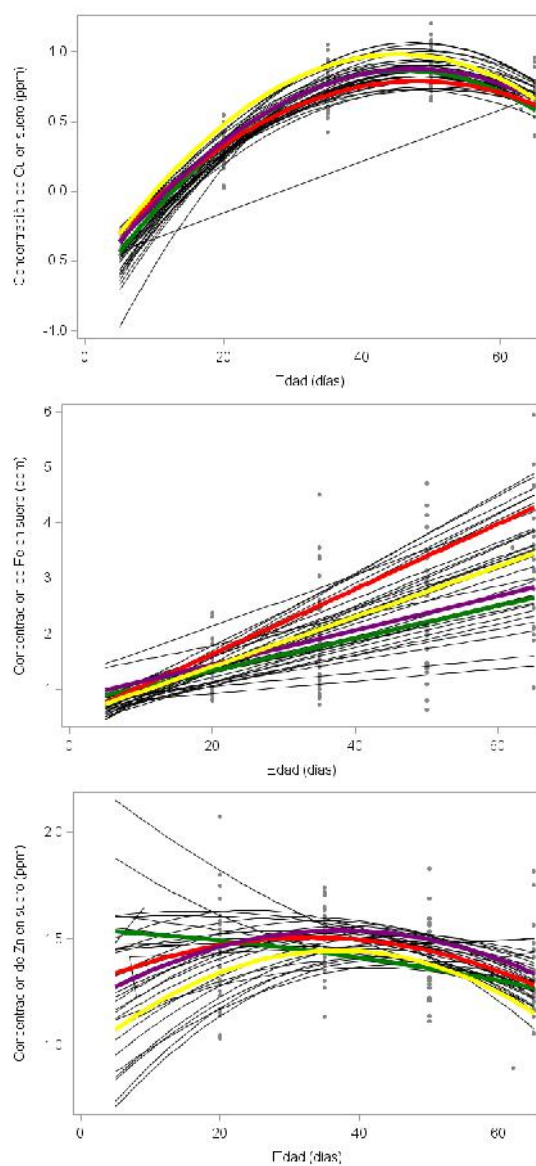


Figura 7. Tendencia de la concentración de Cu, Fe y Zn por tratamiento. ■= Agua no procesada*Sin suplementación; ■=Agua no procesada*Con suplementación; ■= Agua tratada por ósmosis inversa*Sin suplementación; ■= Agua procesada por ósmosis inversa*suplementación.

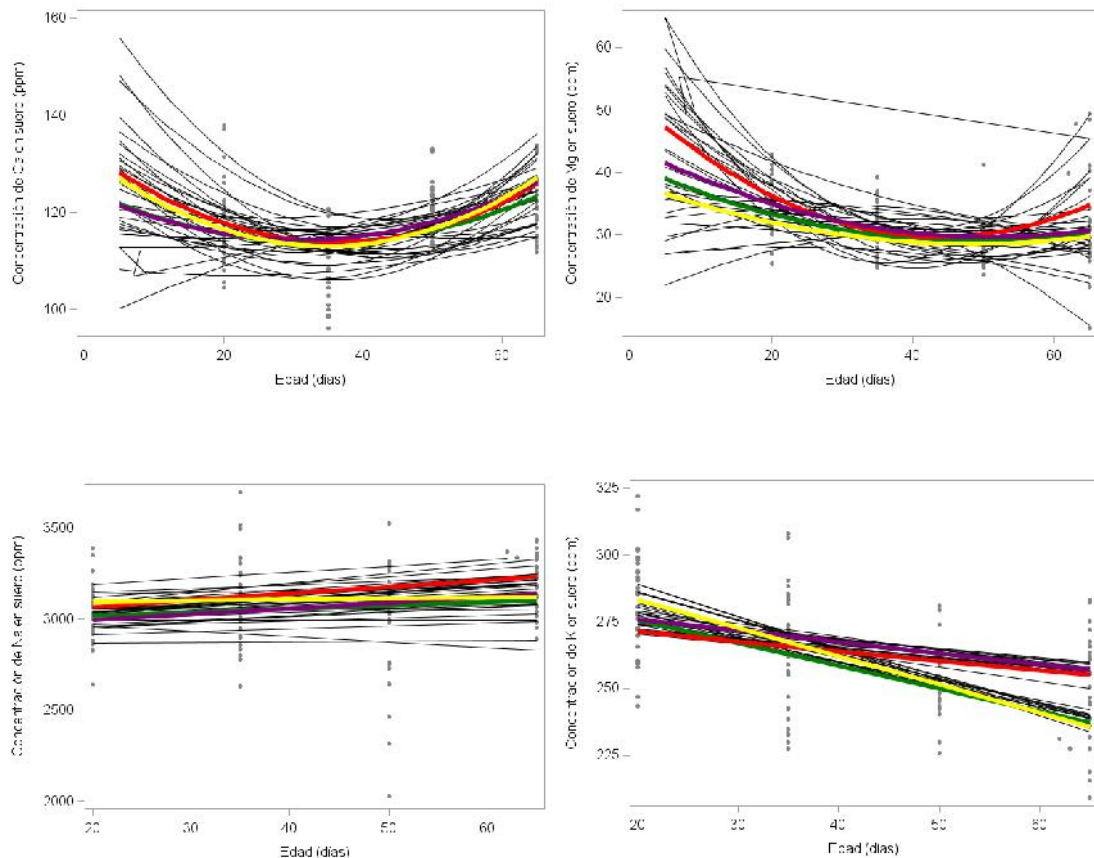


Figura 8. Tendencia de las concentraciones sanguíneas de Ca, Mg, Na y K en becerras. ■= Agua no procesada*Sin suplementación; ■=Agua no procesada*Con suplementación; ■= Agua tratada por ósmosis inversa*Sin suplementación; ■= Agua procesada por ósmosis inversa*suplementación.

En el Cuadro 8 se presenta el comportamiento de la concentración de Cu en suero bajo el efecto del tipo de procesamiento del agua y la suplementación mineral. Bajo el efecto del consumo de agua procesada existe diferencia ($p < 0.05$), siendo los animales que consumieron agua procesada por ósmosis

inversa los que presentan mayores concentraciones de Cu. No hubo efecto ($p>0.05$) sobre la concentración mineral bajo el efecto de suplementación mineral.

El comportamiento de la concentración de Cu en suero sanguíneo fue diferente ($p<0.05$) durante el proceso experimental. Los niveles más bajos de Cu se presentaron en los primeros 15 días de vida del animal, así mismo, las mayores concentraciones de Cu en suero se presentaron a los 45 días de vida del animal. Puls (1988) menciona que los niveles adecuados de Cu en suero sanguíneo son 0.80 a 1.50 ppm, en el presente estudio, los animales durante los primeros 30 días de vida presentaron niveles de Cu deficientes (<0.55 ppm), sin embargo, al día 45 de vida los animales presentaron niveles adecuados de Cu (0.80-1.20 ppm). Al día 60, los niveles de cobre disminuyeron a un nivel indicativo de deficiencia.

Cuadro 8. Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de Cu (mg/L) en suero sanguíneo de beceras.					
Efecto	Edad del animal (días)				Promedios ^y
	15	30	45	60	
Tipo de procesamiento de agua					
Ninguna	0.25	0.71	0.82	0.66	0.61 ^b
<u>Osmosis inversa</u>	<u>0.33</u>	<u>0.82</u>	<u>0.91</u>	<u>0.74</u>	<u>0.70^a</u>
Suplementación mineral					
Sin	0.26	0.75	0.86	0.68	0.64 ^a
<u>Con</u>	<u>0.32</u>	<u>0.78</u>	<u>0.86</u>	<u>0.71</u>	<u>0.66^a</u>
Promedios ^z	0.29 ^c	0.76 ^b	0.86 ^a	0.69 ^b	

^yPromedios= Promedio de la concentración de Cu por efecto de tipo de procesamiento de agua y suplementación mineral con distinta literal son diferentes ($p<0.05$). Error estándar de la media para fuente de agua y suplementación mineral = 0.017

^zPromedios= Promedio de la concentración de Cu por efecto de día con distinta literal son diferentes ($p<0.05$). Error estándar de la media para día =0.024

En la Figura 9 se observa el efecto de la interacción del tipo de procesamiento de agua por suplementación mineral. Los animales que consumieron agua no procesada, con y sin suplementación no presentaron diferencias ($p>0.05$) en la

concentración sanguínea de Cu. Por otro lado, los animales que consumieron agua procesada por ósmosis inversa, presentaron diferencias ($p<0.05$) en la concentración de Cu, siendo los animales que recibieron suplementación los que presentaron mayores niveles de Cu en suero sanguíneo.

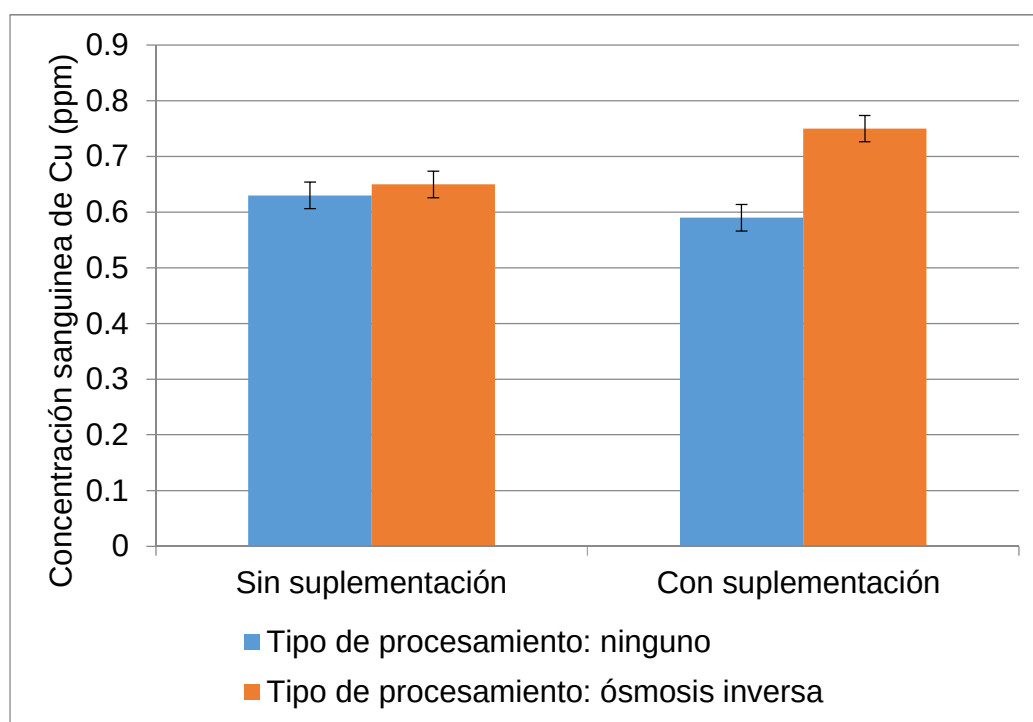


Figura 9. Efecto de la interacción procesamiento de agua y suplementación en las concentraciones de Cu en suero sanguíneo de becerras

A diferencia del presente trabajo de investigación, en el cual se demuestra que la suplementación con Cu aumenta las concentraciones sanguíneas de este mineral, Naseri *et al.* (2011), Arthington *et al.* (2014), Wilson *et al.* (2016) y Teixeira *et al.* (2014) han evaluado la respuesta de la suplementación de Cu sobre la concentración sanguínea de este mineral y han reportado que no existe diferencia en la concentración de Cu en suero entre animales suplementados y no suplementados.

En el Cuadro 9 se presenta el comportamiento de las concentraciones de Fe en suero sanguíneo bajo el efecto de tipo de procesamiento de agua y suplementación. No existió diferencia ($p>0.05$) en las concentraciones

sanguíneas de Fe por efecto del tipo de procesamiento de agua. Sin embargo, bajo el efecto de suplementación mineral, existió diferencia ($p<0.05$), siendo los animales con suplementación mineral los que presentaron mayores concentraciones de Fe en suero sanguíneo.

Los niveles de Fe en suero sanguíneo fueron diferentes ($p<0.05$) conforme aumentó la edad del animal (Figura 10). Similar al caso de Cu, los niveles más bajos de concentración sanguínea de Fe se presentaron a los 15 días de vida, Así mismo, los niveles más altos de Fe en suero se presentaron a los 60 días de vida del animal. Tomando en cuenta las recomendaciones de Puls (1988), las concentraciones de Fe durante los 15, 30 y 45 días de vida de los animales los niveles de Fe en suero sanguíneo fueron adecuados (1.3-2.5 ppm), sin embargo, en el día 60, los niveles de Fe fueron de adecuados a altos (2.5-4 ppm).

Cuadro 9 Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de Fe (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.

Efecto	Edad del animal en días				Promedios ^y
	15	30	45	60	
Tipo de procesamiento de agua					
Ninguna	1.31	2.12	2.54	3.44	2.36 ^a
Osmosis inversa	1.50	1.63	2.35	3.26	2.19 ^a
Suplementación mineral					
Sin	1.32	1.77	2.03	2.81	1.98 ^b
Con	1.50	1.98	2.86	3.90	2.56 ^a
Promedios ^z	1.41 ^c	1.87 ^{bc}	2.45 ^b	3.35 ^a	

^yPromedios= Promedio de la concentración de Fe por efecto de tipo de procesamiento de agua o suplementación mineral con distinta literal son diferentes ($p<0.05$). Error estándar de la media para fuente de agua y suplementación mineral = 0.12

^zPromedios= Promedio de la concentración de Fe por efecto de día con distinta literal son diferentes ($p<0.05$). Error estándar de la media para día =0.17

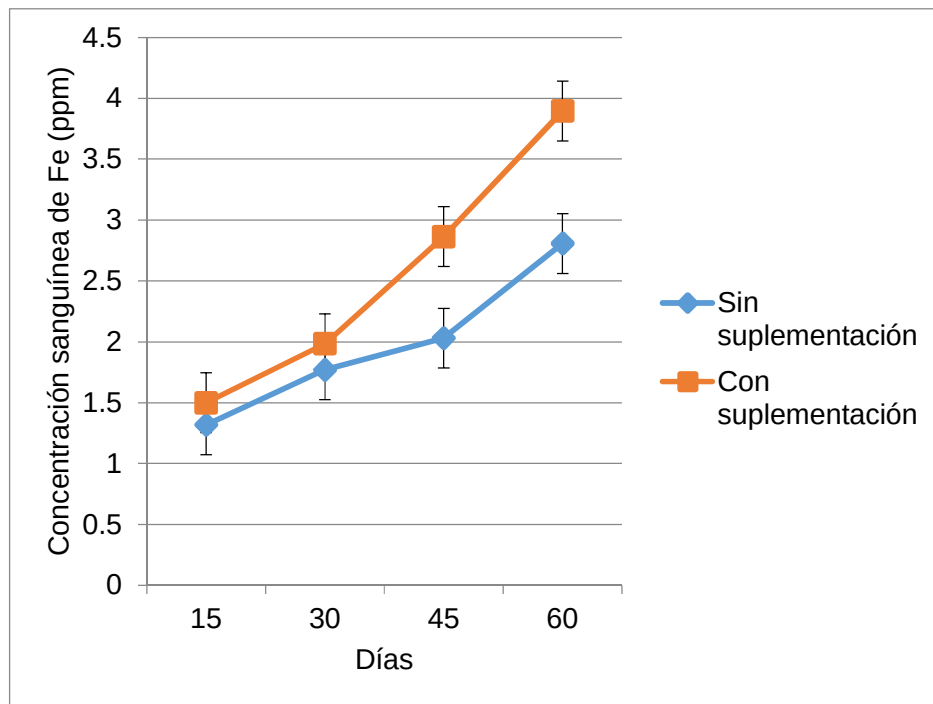


Figura 10. Efecto de la suplementación en las concentraciones de Fe en suero sanguíneo de becerros.

A diferencia del presente trabajo de investigación, en el cual se encontró que la suplementación de Cu afectó las concentraciones de Fe en sangre, Naseri *et al.* (2011) encontraron que al suplementar Cu en becerros Holstein, las concentraciones sanguíneas de Fe no presentaban diferencias.

En el Cuadro 10 se presenta el efecto de procesamiento de agua, suplementación mineral y día en la concentración de Mg en suero sanguíneo. No existe diferencia ($p < 0.05$) en la concentración sanguínea de Mg tanto en animales que consumieron agua no procesada y agua procesada, así como en los animales con y sin suplementación mineral.

La concentración de Mg en suero sanguíneo presentó diferencias ($p < 0.05$) durante los días de vida de los animales. De manera contraria al caso de Fe, el comportamiento de la concentración de Mg en suero tiende a disminuir

conforme el animal crece. A los 15 días de vida es cuando los animales presentan los mayores niveles ($p<0.05$) de Mg en suero sanguíneo, posteriormente, la concentración de este mineral alcanza el nivel más bajo a los 45 días de vida del animal. Cabe señalar que los niveles de Mg en suero sanguíneo son adecuados (18-35 ppm) según las recomendaciones de Puls (1988).

Cuadro 10. Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de Mg (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.

Efecto	Edad del animal en días				Promedios ^z
	15	30	45	60	
Tipo de procesamiento de agua					
Ninguna	35.6	30.9	31.8	32.7	32.6 ^a
Osmosis inversa	33.8	31.7	27.9	29.3	30.7 ^a
Suplementación mineral					
Sin	34.9	30.8	29.5	30.2	31.4 ^a
Con	34.5	31.9	30.2	31.2	31.9 ^a
Promedios ^y	34.7 ^a	31.3 ^b	29.8 ^b	30.7 ^b	

^yPromedios= Promedio de la concentración de Mg por efecto de tipo de procesamiento de agua y suplementación mineral con distinta literal son diferentes ($p<0.05$). Error estándar de la media para fuente de agua y suplementación mineral = 0.81

^zPromedios= Promedio de la concentración de Mg por efecto de día con distinta literal son diferentes ($p<0.05$). Error estándar de la media para día =1.15

En la Figura 11 se puede apreciar el comportamiento de la concentración de Mg en suero sanguíneo bajo el efecto de la interacción de tipo de procesamiento del agua y la suplementación. Podemos observar que no existe diferencia ($p>0.05$) en la concentración de Mg en suero en animales que no recibieron suplementación mineral y bebían agua procesada y no procesada. Por otra parte, se encontraron diferencias ($p<0.05$) en la concentración sanguínea de Mg en animales con suplementación, presentando mayores concentraciones de este mineral el grupo de animales que consumieron agua sin procesar.

Los animales que bebieron agua no procesada y recibieron suplementación mineral presentaron mayores niveles de Mg en suero ($p<0.05$) a diferencia de

los animales sin suplementación. El grupo de animales que bebieron agua procesada no presentaron diferencias ($p>0.05$) entre animales con y sin suplementación.

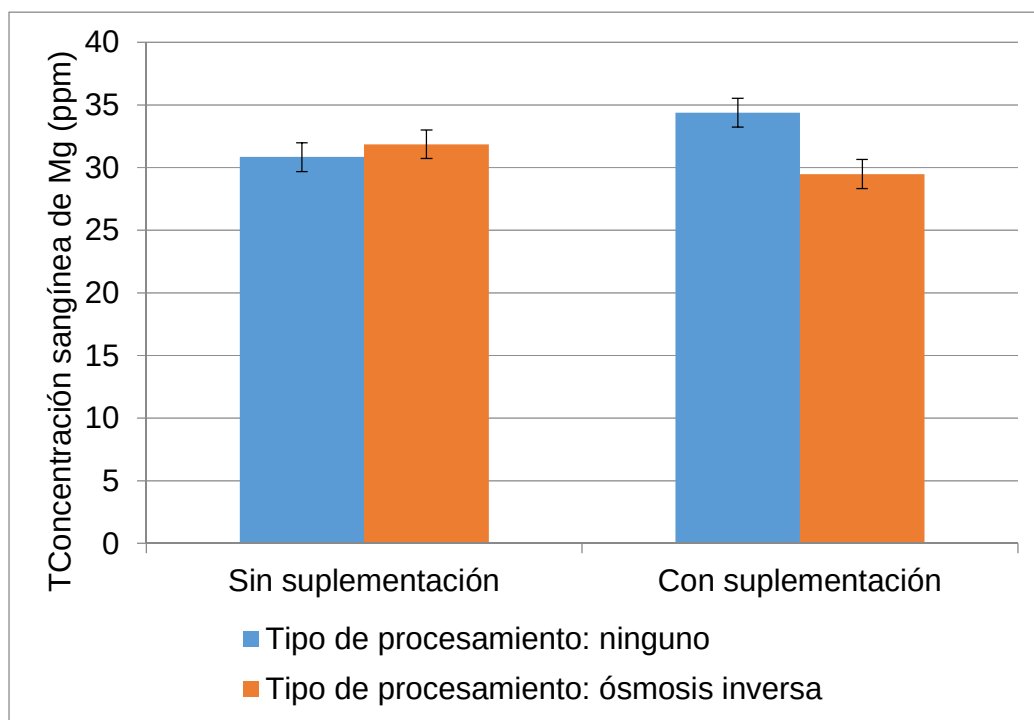


Figura 11. Efecto de la interacción procesamiento de agua y suplementación en las concentraciones de Mg en suero sanguíneo de becerros

La concentración sanguínea de Na no presentó diferencias ($p>0.05$) por efecto del procesamiento del agua., sin embargo, la concentración de sanguínea de Na se incrementó ($p<0.05$) con suplementación mineral en relación a los animales no suplementados (Cuadro 11). La concentración de Na en suero sanguíneo fue diferente ($p<0.05$) durante los diferentes días de vida de los animales (Figura 12). La concentración de Na en suero sanguíneo más alta ($p<0.05$) se presentó a los 60 días de vida y la más baja a los 45 días de vida.

Cuadro 11. Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de Na (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.

Efecto	Edad del animal en días				Promedios ^y
	15	30	45	60	
Tipo de procesamiento de agua					
Ninguna	3069	3085	2800	3227	3045 ^a
<u>Osmosis inversa</u>	<u>3022</u>	<u>3158</u>	<u>2910</u>	<u>3151</u>	<u>3060^a</u>
Suplementación mineral					
Sin	3032	3047	2687	3173	2985 ^b
<u>Con</u>	<u>3059</u>	<u>3197</u>	<u>3023</u>	<u>3205</u>	<u>3121^a</u>
Promedios ^z	3046 ^{ab}	3121 ^a	2855 ^b	3189 ^a	

^yPromedios= Promedio de la concentración de Na por efecto de tipo de procesamiento de agua y suplementación mineral con distinta literal son diferentes ($p < 0.05$). Error estándar de la media para fuente de agua y suplementación mineral = 38.7

^zPromedios= Promedio de la concentración de Na por efecto de día con distinta literal son diferentes ($p < 0.05$). Error estándar de la media para día =54.7

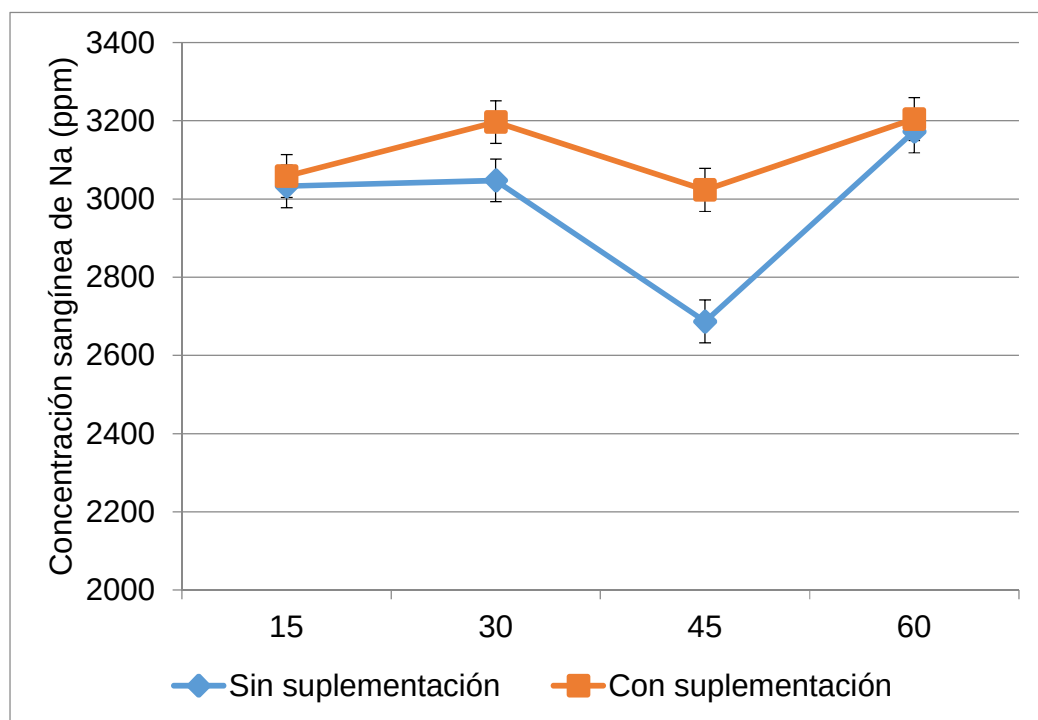


Figura 12. Efecto de la suplementación en las concentraciones de Na en suero sanguíneo de becerras.

La concentración de Zn en el suero sanguíneo de las becerras no fue afectada ($p>0.05$) por el procesamiento de agua o la suplementación mineral. Sin embargo, se encontró diferencias ($p<0.05$) en los niveles sanguíneos de Zn entre los diferentes días de vida del animal, siendo el día 30 en el que se encontraron las concentraciones de Zn más altas ($p<0.05$) en suero sanguíneo y las más bajas a los 60 días de vida. Tomando en cuenta las recomendaciones que señala Puls (1988), los animales presentaron concentraciones adecuadas de Zn en suero sanguíneo durante todo el proceso experimental (0.8 a 1.4 ppm).

Cuadro 12. Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de Zn (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.

Efecto	Edad del animal en días				Promedios ^y
	15	30	45	60	
Tipo de procesamiento de agua					
Ninguna	1.47	1.51	1.38	1.31	1.42 ^a
Osmosis inversa	1.37	1.50	1.44	1.33	1.41 ^a
Suplementación mineral					
Sin	1.46	1.52	1.41	1.34	1.43 ^a
Con	1.38	1.50	1.41	1.30	1.39 ^a
Promedios ^z	1.42 ^{ab}	1.51 ^a	1.41 ^{ab}	1.32 ^b	

^yPromedios= Promedio de la concentración de Zn por efecto de tipo de procesamiento de agua y suplementación mineral con distinta literal son diferentes ($p<0.05$). Error estándar de la media para fuente de agua y suplementación mineral = 0.025

^zPromedios= Promedio de la concentración de Zn por efecto de día con distinta literal son diferentes ($p<0.05$). Error estándar de la media para día = 0.035

Los animales no mostraron diferencias ($p>0.05$) en la concentración de Ca en suero sanguíneo debido a procesamiento de agua o suplementación mineral (Cuadro 13). Los animales presentaron diferencias ($p<0.05$) en las concentraciones sanguíneas de Ca durante los diferentes días de vida. El día 30 se presentó la concentración más baja ($p<0.05$) de Ca en relación al resto de los días. Los niveles de Ca en sangre fueron de adecuados a altos según las recomendaciones que realiza Puls (1988).

Cuadro 13. Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de Ca (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.

Efecto	Edad del animal en días				Promedios ^y
	15	30	45	60	
Tipo de procesamiento de agua					
Ninguna	119	109	121	122	118 ^a
Osmosis inversa	118	110	124	124	119 ^a
Suplementación mineral					
Sin	118	109	125	122	119 ^a
Con	119	110	119	124	118 ^a
Promedios ^z	119 ^a	110 ^b	122 ^a	123 ^a	

^yPromedios= Promedio de la concentración de Ca por efecto de tipo de procesamiento de agua y suplementación mineral con distinta literal son diferentes ($p < 0.05$). Error estándar de la media para fuente de agua y suplementación mineral = 1.08

^zPromedios= Promedio de la concentración de Ca por efecto de día con distinta literal son diferentes ($p < 0.05$). Error estándar de la media para día = 1.52

El Cuadro 14 muestra el comportamiento de la concentración de K en suero sanguíneo becerras por efectos de los días del experimento, tipo de procesamiento de agua, y suplementación mineral. Se puede observar que no existió efecto ($p > 0.05$) del tipo de procesamiento de agua o suplementación mineral.

Los animales presentaron diferencias ($p < 0.05$) en las concentraciones sanguíneas de K a través del tiempo. Las concentraciones más altas de K en suero sanguínea se presentaron a los 15 días de vida, así mismo, las concentraciones más bajas de K en suero sanguíneo se presentaron en el día 45.

La concentración sanguínea de K tiende a disminuir a los 15 y 45 días de vida, posteriormente, del día 45 al día 60, las concentraciones sanguíneas de K aumentan. Los animales presentaron concentraciones superiores a las recomendadas por Puls (1988), mismas que son de 160 a 199 ppm.

Cuadro 14. Medias de cuadrados mínimos de las concentraciones de K (mg/L) en suero sanguíneo de becerras.

	Edad del animal en días				
Efecto	15	30	45	60	Promedios ^y
Tipo de procesamiento de agua					
Ninguna	277	264	233	251	256 ^a
Osmosis inversa	285	266	225	252	257 ^a
Suplementación mineral					
Sin	280	264	228	252	256 ^a
Con	282	266	231	251	257 ^a
Promedios ^z	281 ^a	265 ^{ab}	229 ^c	252 ^b	

^yPromedios= Promedio de la concentración de K por efecto de tipo de procesamiento de agua y suplementación mineral con distinta literal son diferentes ($p < 0.05$). Error estándar de la media para fuente de agua y suplementación mineral = 3.76

^zPromedios= Promedio de la concentración de K por efecto de día con distinta literal son diferentes ($p < 0.05$). Error estándar de la media para día = 5.32

3.6 CONCLUSIONES

El agua en el establo donde se realizó el presente estudio presentó altas concentraciones de sulfatos, lo que hace necesario realizar una suplementación mineral de Cu y Se en becerras holstein predestete, o bien, someter el agua de bebida de las becerras holstein predestete a procesos de potabilización como lo es ósmosis inversa. En el presente trabajo de investigación se encontró que mediante la suplementación mineral y el procesamiento de agua por ósmosis inversa mejoró el consumo de agua de las becerras holstein predestete. Así mismo, el consumo de alimento de los animales aumentó por efecto del procesamiento del agua y la suplementación mineral. Al suplementar a las becerras se presentó mejoría en el peso de los animales. Cabe señalar que los animales durante los primeros 15 días de vida presentan deficiencia de Cu, por lo tanto la suplementación mineral es necesaria para mejorar los niveles de este mineral en los animales.

3.7 LITERATURA CITADA

- Amat, S., A. A. Olokowski, M. Atila & T.J. O'Neill. (2013). A review of polioencephalomalacia in ruminants: is the development of malacic lesions associated with excess sulfur intake independent of thiamine deficiency? *Veterinary Medicine Animal Science*, 1, 1-10.
- Arthington, J. D., Moriel, P., Martins, P. G. M. A., Lamb, G. C., & Havenga, L. J. (2014). Effects of trace mineral injections on measures of performance and trace mineral status of pre-and postweaned beef calves. *Journal of Animal Science*, 92(6), 2630-2640.
- Beede, D. K. (2006). Evaluation of water quality and nutrition for dairy cattle. In *High Plains Dairy Conference*, 1, 129-154.
- Braul, L. & B. Kirychuk. 2001. Water quality matters. Canada: Prairie Farm Rehabilitation Administration.
- Chen, J. M., Schütz, K. E., & Tucker, C. B. (2016). Cooling cows efficiently with water spray: Behavioral, physiological, and production responses to sprinklers at the feed bunk. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4607-4618.
- de Passille, A. M., Borderas, T. F., & Rushen, J. (2011). Weaning age of calves fed a high milk allowance by automated feeders: effects on feed, water, and energy intake, behavioral signs of hunger, and weight gains. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1401-1408.
- Favela, J., O. Acosta, J. Hernandez, & J. Jaimes. (2006). Evaluación de Doxinal-d® como inductor indirecto de inmunidad en becerras Holstein Friesian en la Comarca Lagunera. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 5, 61-66.
- Fick, K.R., McDowell, L.R., Miles, P.H., Wilkinson, N.S., Funk, J.D., Conrad, J.H. & Valdivia, R., 1979. Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. Segunda Edición. (Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA).
- Hall, J. O. (2012). Sulfur. In: Gupta R. C. (Ed.) *Veterinary Toxicology: Basic and Clinical Principles* (pp. 562-566). U.S.A.: Elsevier.
- Herrera, C. (2012). Comportamiento productivo y reproductivo de vacas Holstein que consumen agua de pozo profundo y de ósmosis inversa (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo, estado de México)
- Higgins, S.F., C.T. Agouridis and A.A. Gumbert. 2008. Drinking Water Quality Guidelines for Cattle. U.S.A: University of Kentucky.

- Hill, T.M., Bateman, H.G. II, Aldrich, J.M., & Schlotterbeck, R.L. (2010). Effect of milk replacer program on digestion of nutrients in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 93(3),1105–1115.
- Huuskonen, A., Tuomisto, L., & Kauppinen, R. (2011). Effect of drinking water temperature on water intake and performance of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 94(5), 2475-2480.
- Hutjens, M. (1999). Importance of trace Minerals in Dairy Heifer, Dry Cow, and Lactating Cow Rations. Disponible en: <http://livestocktrail.illinois.edu/dairynet/paperDisplay.cfm?ContentID=551>. Consultado el 16 de marzo de 2015.
- Jasper, J., & Weary, D. M. (2002). Effects of ad libitum milk intake on dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 85(11), 3054-3058.
- Jones, C., & Heinrichs, J. (2013). Heat stress in dairy calves. *University Park, PA: Penn State Extension*.
- Kadzere, C. T., Murphy, M. R., Silanikove, N., & Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science*, 77(1), 59-91.
- Khan, M. A., Weary, D. M., & Von Keyserlingk, M. A. G. (2011). Invited review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 94(3), 1071-1081.
- Kennedy, E., & E. Lewis. (2011). Rearing healthy calves: Management of cows pre-calving and calves post birth and rearing options. Disponible en: http://www.agresearch.teagasc.ie/moorepark/articles/rearinghealthycalves_201101.pdf. Consultado el 16 de Marzo de 2015.
- Linn, J. (2008). Impact of minerals in water on dairy cows. Available at <http://www.extension.umn.edu/agriculture/dairy/feed-and-nutrition/impact-of-minerals-in-water/>. Accessed November 06th, 2016.
- Linn, J., & Raeth-Knight, M. (2010). Water quality and quantity for dairy cattle. *Department of Animal Science. Minneapolis: University of Minnesota*.
- Loneragan, G. H., J. J. Wagner, D. H. Gould, F. B. Garry & M. A. Torren. (2011). Effects of water sulfate concentrations on performance, water intake, and carcass characteristics of feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 79, 2941-2948.
- Looper, M. L & Waldner, D. N. (2007). Water for dairy cattle. New Mexico, U.S.A.:New Mexico State University.

- López-Martínez, J. D., A. Ávalos-Marines, E. Martínez-Rubin de Celis, R. Valdez-Cepeda & E. Salazar-Sosa. (2006). Características físicas del suelo y rendimiento de maíz forrajero evaluados con labranza y fertilización orgánica-inorgánica. *Terra Latinoamericana*, 24(3), 417-422.
- Martínez, A. A. (2003). Manual de crianza de becerras (2da ed.). México: Grupo Editores Agropecuarios.
- Montemayor-Trejo, J., J.L. Lara-Míreles, J.L. Woo-Reza, J. Munguía-López, M. Rivera-González & R. Trucíos-Caciano. (2012). Producción de maíz forrajero (*Zea mays* L.) en tres sistemas de irrigación en la Comarca Lagunera de Coahuila y Durango, México. *Agrociencia*, 46, 267-278.
- Naseri, Z., Mohri, M., Aslani, M. R., & Tabatabaee, A. A. A. (2011). Effects of short-term over-supplementation of copper in milk on hematology, serum proteins, weight gain, and health in dairy calves. *Biological Trace Element Research*, 139(1), 24-31.
- NRC. (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle (7th Ed.). Washington D.C: National Academy Press.
- Osorio, J. S., Wallace, R. L., Tomlinson, D. J., Earleywine, T. J., Socha, M. T., & Drackley, J. K. (2012). Effects of source of trace minerals and plane of nutrition on growth and health of transported neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 95(10), 5831-5844.
- Perkin Elmer. (1996). Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy. United States of America: Perkin Elmer Inc. Rasby, R.J, B.E. Anderson and P.J. Kononoff. (2014). Nitrates in livestock feeding. U.S.A.: University of Nebraska-Lincoln.
- Puls, R. (1988). Mineral Levels in Animal Health. Diagnostic Data. Sherpa International, Clearbrook.
- Rasby, R.J, B.E. Anderson & P.J. Kononoff. (2014). Nitrates in Livestock Feeding. U.S.A.: University of Nebraska-Lincoln.
- Roland, L., Drillich, M., Klein-Jöbstl, D., & Iwersen, M. (2016). Invited review: Influence of climatic conditions on the development, performance, and health of calves. *Journal of Dairy Science*, 99(4), 2438-2452.
- SAS (Statistical Analyses System), 2013. SAS/STAT User's Guide. SAS Publishing, Cary, NC
- Teixeira, A. G. V., Lima, F. S., Bicalho, M. L. S., Kussler, A., Lima, S. F., Felipe, M. J., & Bicalho, R. C. (2014). Effect of an injectable trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on immunity, health, and growth of dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 97(7), 4216-4226.

- Thomas, L. C., Wright, T. C., Formusiak, A., Cant, J. P., & Osborne, V. R. (2007). Use of flavored drinking water in calves and lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 90(8), 3831-3837.
- WHO. 2008. Drinking-Water Quality (3th ed.). Switzerland: World Health Organization.
- Vázquez-Añón, M., T. Peters, P. T. Hampton, J. McGrath & B. Huedepohl. (2007). Case study: supplementation of chelated forms of zinc, copper, and manganese to feedlot cattle with access to drinking water with high sulfate concentrations. *The Professional Animal Scientist* 23, 58-63.
- Ventura, R. J. (2006). *Calidad del agua en crianza de becerros Holstein* (Doctoral dissertation, Tesis Maestría. Facultad de Zootecnia. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua Chih. México).
- Wilson, B. K., Vazquez-Anon, M., Step, D. L., Moyer, K. D., Haviland, C. L., Maxwell, C. L., & Richards, C. J. (2016). Effect of copper, manganese, and zinc supplementation on the performance, clinical signs, and mineral status of calves following exposure to bovine viral diarrhea virus type 1b and subsequent infection. *Journal of Animal Science*, 94(3), 1123-1140.