

Artículo científico

Suplementación con un núcleo nutricional y su efecto sobre variables productivas y metabólicas en vacas jersey¹

Daniel Burgos-Castro², Augusto Rojas-Bourrillon³, Carlos M. Campos-Granados⁴

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la suplementación con un núcleo nutricional que contenía una premezcla mineral y vitamínica, cromo, biotina, aceites esenciales y vitamina D durante los primeros 100 días de lactancia en vacas lecheras en una finca comercial en la zona de Oreamuno, Cartago, Costa Rica. Se utilizaron 35 vacas multíparas jersey en pastoreo, distribuidas con base en la producción de leche en la lactancia anterior y número de lactancia, en 5 grupos experimentales con 7 repeticiones cada uno: T1 (150 g del núcleo nutricional completo), T2 [150 g de la premezcla mineral y vitamínica usada en la finca (testigo)], T3 (150 g de la premezcla mineral y vitamínica + biotina), T4 (150 g de la premezcla mineral y vitamínica + cromo) y T5 (150 g de la premezcla mineral y vitamínica + aceites esenciales). Estos tratamientos eran ofrecidos diariamente a los animales durante la alimentación individual previa al ordeño en la sala de alimentación y los productos se ofrecían *on top* en el alimento balanceado. Se evaluó diariamente la producción de leche; semanalmente la calidad de leche, la condición corporal de los animales y la concentración de metabolitos sanguíneos: glucosa (una vez por semana durante el primer mes de lactancia); betahidroxibutirato (β HBA) (días 8 y 30 de lactancia); aspartato aminotransferasa

¹Esta investigación forma parte del trabajo de graduación de licenciatura del primer autor. Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia. Escuela de Zootecnia. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

²Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia y Centro de Investigación en Nutrición Animal. San José, Costa Rica. Correo electrónico: danielbc_10@hotmail.com (<https://orcid.org/000-0001-5829-8311>)

³Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia y Centro de Investigación en Nutrición Animal. San José, Costa Rica. Correo electrónico: arojasbourrillon@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-9834-2361>)

⁴Universidad de Costa Rica. Escuela de Zootecnia y Centro de Investigación en Nutrición Animal. San José, Costa Rica. Autor para correspondencia: carlosmario.campos@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0002-0079-2621>)

Recibido: 16 mayo 2023 Aceptado: 4 setiembre 2023

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0.



(AST) y gamma glutamil transferasa (GGT) (días 1 y 21 de lactancia); calcio, fósforo y magnesio (días 1, 3, 5, 7 y 21 de lactancia). Se realizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo con un modelo lineal mixto analizado con el software estadístico R 3.5.1 y una prueba de Tukey para determinar la significancia ($p < 0.05$) de los posibles efectos de los distintos tratamientos. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) para la mayoría de las variables evaluadas, lo cual se atribuye principalmente a la baja dosificación de los distintos aditivos evaluados. Por lo tanto, se concluye que, bajo las condiciones de este experimento, no se observó ningún efecto sobre variables productivas y concentración de metabolitos sanguíneos a partir de la suplementación con un núcleo nutricional en la dieta de vacas jersey en los primeros 100 días de lactancia.

Palabras clave: producción de leche, cromo, biotina, aceites esenciales, metabolitos sanguíneos.

ABSTRACT

Supplementation with a nutritional nucleus and its effect on productive and metabolic variables in Jersey cows. The present study aimed to evaluate the effect of supplementation with a nutritional nucleus containing a mineral and vitamin premix, chromium, biotin, essential oils, and vitamin D during the first 100 days of lactation in dairy cows on a commercial farm located in Oreamuno, Cartago, Costa Rica. A total of thirty-five grazing Jersey multiparous cows were used, distributed into five experimental groups based on milk production in the previous lactation and lactation number, with seven repetitions each: T1 (150 g of the complete nutritional nucleus), T2 [150 g of the mineral and vitamin premix used on the farm (control)], T3 (150 g of the mineral and vitamin premix + biotin), T4 (150 g of the mineral and vitamin premix + chromium) and T5 (150 g of the mineral and vitamin premix + essential oils). These

treatments were provided daily to the animals during individual feeding before milking in the feeding room, the products were offered on top of the feed. Productive variables (daily milk production; weekly milk quality and body condition score) of the animals and the concentration of blood metabolites were evaluated: glucose (once a week during the first month of lactation); beta-hydroxybutyrate (β HBA) (days 8 and 30 of lactation); aspartate aminotransferase (AST) and gamma-glutamyl transferase (GGT) (days 1 and 21 of lactation); calcium, phosphorus, and magnesium (days 1, 3, 5, 7 and 21 of lactation). A repeated measure over time analysis was performed using a mixed linear model with the R 3.5.1 statistical software, and a Tukey test was conducted to determine the significance ($p < 0.05$) of the effects of the different treatments. No significant differences were found ($p > 0.05$) for most of the variables evaluated, mainly associated with the low dosage of the different additives evaluated. Therefore, based on the conditions of this experiment, is concluded that supplementation with nutritional nucleus had no effect on the productive performance and metabolite concentration of Jersey cows during the first 100 days of lactation.

Keywords: milk yield, chromium, biotin, essential oils, blood metabolites.

INTRODUCCIÓN

La producción de ganado de leche en Costa Rica es una actividad que se realiza bajo diferentes tipos de sistemas, siendo la lechería especializada la de mayor predominancia y cuyo producto principal es la leche de alta calidad. En estos sistemas, la producción está basada en el pastoreo rotacional con suplementación estratégica como el principal recurso alimenticio. Por esta razón, es imperativo buscar las alternativas necesarias para maximizar la eficiencia en la utilización de las materias en los sistemas de producción, lo cual representa uno de los desafíos más importantes para el sector lácteo nacional (Barrientos y Villegas, 2010). Algunas de las principales alternativas para lograr esta optimización se orientan hacia la utilización eficiente

del recurso forrajero, al uso racional de productos y subproductos agrícolas, al incremento de la productividad por vaca y por área, a la innovación tecnológica y su adecuada transferencia, a la mitigación y adaptación al cambio climático, entre otros (McGrath et al., 2017).

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que, al maximizar la eficiencia de los animales y de los sistemas en general, se incrementa el reto para los animales porque se puede comprometer su salud y bienestar. Existe la posibilidad de que aumente la probabilidad de que incidan diversas enfermedades metabólicas e infecciosas (McGrath et al., 2017). Una de las medidas para disminuir este efecto es a través del empleo de estrategias de alimentación que promuevan un mayor aprovechamiento de los nutrientes y menor desgaste energético de las vacas productivas. Estas estrategias buscan mejoras en la producción de leche, respuestas positivas en variables reproductivas y en la salud general de los animales, entre otros aspectos relevantes (Salazar, 2019).

En los últimos años se han desarrollado nuevas tendencias nutricionales con el fin de prevenir trastornos metabólicos, como hipocalcemia y cetosis, y optimizar el uso de la glucosa en el organismo de los animales. Así como otros aspectos de importancia alimentaria, también se encuentra la suplementación con aceites esenciales, biotina, cromo y vitamina D (Zimmerly y Weiss, 2001; Bryan et al., 2004; Rosendo et al., 2004; Calsamiglia et al., 2007; Martínez et al., 2018).

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la suplementación con un núcleo nutricional conteniendo una premezcla mineral y vitamínica, calcidiol, aceites esenciales, biotina y cromo. Esto en busca de variables productivas y concentración de metabolitos sanguíneos en vacas jersey en producción dentro de una lechería especializada en la zona alta de Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El experimento se realizó en una finca comercial productora de leche ubicada en el distrito de Santa Rosa, cantón de Oreamuno (latitud 09° 52', longitud 50° 10'), provincia de Cartago, entre los meses de julio y diciembre del 2019. La finca se ubica a 2350 m s. n. m. y las condiciones de la zona son: precipitación media anual de 2370 mm de mayo a diciembre, humedad relativa media de 84% y temperatura media de 17,5 °C.

Diseño del experimento, animales y dietas

Se utilizaron 35 vacas multíparas de la raza jersey durante los primeros 100 días lactancia (DL), las cuales fueron agrupadas de acuerdo con la producción de leche en la lactancia anterior (25 kg/vaca/día en promedio para todos los grupos) y el número de parto (4 para todos los grupos), de manera tal que este agrupamiento no influyese en los resultados obtenidos.

Se definieron 5 tratamientos con 7 repeticiones cada uno: T1) núcleo, premezcla mineral y vitamínica con calcidiol, biotina, cromo y aceites esenciales; T2) testigo, premezcla mineral y vitamínica que utilizaba el sistema de producción en el momento del desarrollo de esta investigación; T3) biotina, premezcla mineral y vitamínica más calcidiol y biotina; T4) cromo, premezcla mineral y vitamínica más calcidiol y cromo; T5) aceites esenciales, premezcla mineral y vitamínica más calcidiol y aceites esenciales.

Los animales consumían diariamente una dieta compuesta por pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) *ad libitum* (pastoreo de dos potreros al día) y en cepos individuales previo a los ordeños, una suplementación con alimento balanceado comercial para ganado lechero [relación 3:1 (kg leche:kg alimento balanceado)], pulpa de cítricos peletizada (2 kg/vaca/día), melaza de caña de azúcar (1 kg/vaca/día), sal blanca (100 g/vaca/día), heno de transvala (*Digitaria decumbens* cv. transvala) (1 kg/vaca/día), agua limpia a libre acceso y la premezcla

mineral y vitamínica de acuerdo con el tratamiento asignado (150 g/vaca/día). La composición nutricional de estos ingredientes se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición nutricional de los ingredientes de la dieta ofrecida a los animales durante el desarrollo del experimento.

Ingrediente	MS (%)*	PC (%)*	FDN (%)*	ENI (Mcal/kg MS)*
Kikuyo	15,97	27,35	53,19	1,60
Heno de transvala	84,69	3,09	65,11	1,30
Alimento comercial	87,00	16,00	15,30	1,85
Pulpa de cítricos peletizada	87,00	6,20	19,60	1,60
Melaza	75,00	5,20	-	1,30
Premezcla mineral y vitamínica	96,50	-	-	-
Sal blanca	90,00	-	-	-

Fuente: Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA), Universidad de Costa Rica. Metodología de análisis de química húmeda (AOAC, Van Soest); Laboratorio de Aseguramiento de Calidad, Cooperativa Dos Pinos. Metodología de análisis de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS).

*MS: materia seca. PC: proteína cruda. FDN: fibra detergente neutro. ENI: energía neta de lactancia.

VARIABLES EVALUADAS

Producción de leche

Se llevó un registro de producción de leche diaria por animal (2 ordeños al día) y, además, se calculó la producción de leche corregida al 4% de grasa mediante la ecuación propuesta por Gaines (1928):

$$[(0,4 \times \text{kg leche/día}) + (15 \times \text{kg grasa/día})].$$

Calidad de leche

Se realizó un muestreo semanal de leche por animal. Para analizar el contenido porcentual de sólidos totales (grasa, proteína, lactosa, minerales) se utilizó la metodología de NIRS con el equipo MilkoScan FT-120; para el nitrógeno ureico en leche (NUL) el método enzimático y la

cuantificación por espectrofotometría con el equipo ChemSpec® 150; y para el conteo de células somáticas (CCS), la metodología de colorimetría y conteo de impulsos eléctricos de fluorescencia con el equipo Fossomatic Serie 400. Todos los análisis se realizaron en el laboratorio de la Cooperativa Dos Pinos.

Calificación de condición corporal

La evaluación se realizó desde el día 15 preparto hasta el día 90 postparto y se utilizó la metodología descrita por Ferguson et al. (1994).

Concentración de β HBA en sangre

Se contabilizó con el uso de un medidor electroquímico manual "OptiumXceed®" de Laboratorios Abbott, mediante el contacto del dispositivo sensible desechable específico para β HBA con la sangre objeto de análisis. La muestra de sangre individual por vaca se obtuvo por punción de la vena y/o arteria coccígea con una aguja de tamaño 18" x 1" a los 8 y 30 días de lactancia (Saborío-Montero, 2012).

Concentración de glucosa en sangre

Se calculó mediante el uso de un medidor electroquímico manual "OptiumXceed®" de Laboratorios Abbott, a través del contacto del dispositivo sensible desechable específico para glucosa con la sangre objeto de análisis. La muestra de sangre individual por vaca se obtuvo por punción de la vena y/o arteria coccígea con una aguja de tamaño 18" x 1" una vez por semana durante el primer mes de lactancia y 2 horas después de la alimentación de las vacas (Saborío-Montero y Sánchez, 2013).

Concentración de calcio, fósforo y magnesio en sangre

Se tomaron muestras individuales por vaca de sangre de la vena y/o arteria coccígea con agujas de 18" x 1" y tubos estériles de 9 mL con activador de aglutinación de suero Z (Greiner Bio-One) los días 1, 3, 5, 7 y 21 de lactancia. Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 4000 r. p. m. durante 5 minutos y el suero obtenido se colocó en viales en refrigeración para ser enviados al Laboratorio de Análisis Clínicos de la Universidad Nacional. Los contenidos de

calcio, fósforo y magnesio en las muestras de suero se determinaron por colorimetría utilizando un autoanalizador Spinreact Spin 200E®.

Concentración de enzimas hepáticas AST y GGT

Las muestras de sangre fueron tomadas individualmente en cada vaca de la vena y/o arteria coccígea con agujas de 18" x 1" y tubos estériles de 9 mL con activador de aglutinación de suero Z (Greiner Bio-One) los días 1 y 21 de lactancia. Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 4000 r. p. m. durante 5 minutos y el suero obtenido se colocó en viales en refrigeración para ser enviados al Laboratorio de Análisis Clínicos de la Universidad Nacional. Los contenidos de las enzimas se determinaron en un autoanalizador Metrolab 2300® (Wiener Lab) a 37 °C.

Análisis estadísticos

Se utilizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo con un modelo lineal mixto, utilizando el número de parto como covariable con el software estadístico R 3.5.1 (R Core Team, 2018). Para determinar la significancia de los efectos de los distintos tratamientos, se usó la prueba de Tukey (Steel et al., 1997) con un nivel de significancia de 0.05. El modelo utilizado fue el siguiente:

$$y_{ijkl} = \mu + V_i + S_j + T_k + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

y_{ijkl} : observación l -ésima de variable para la i -ésima vaca, en la j -ésima semana y del k -ésimo tratamiento.

μ : media poblacional

V_i : Efecto de la i -ésima vaca.

S_j : Efecto de la j -ésima semana.

T_k : Efecto del k -ésimo tratamiento.

ϵ_{ijkl} : Error aleatorio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción y calidad de leche

La producción de leche diaria y la producción de leche diaria corregida al 4% de grasa obtenida para los 5 tratamientos se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Producción de leche diaria obtenida para los 5 tratamientos evaluados en el experimento.

Tratamiento	Producción de leche (kg/vaca/día)	Producción de leche corregida al 4% de grasa (kg/vaca/día)
T1 (núcleo)	29,20 ± 1,04	29,30 ± 1,39
T2 (testigo)	29,20 ± 1,12	30,00 ± 1,44
T3 (biotina)	29,80 ± 1,17	30,70 ± 1,51
T4 (cromo)	27,30 ± 1,15	27,10 ± 1,49
T5 (aceites esenciales)	28,60 ± 1,04	27,20 ± 1,31

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos para ninguna de las variables evaluadas, similar a lo encontrado por otros autores en estudios donde no se ha encontrado respuesta alguna a la suplementación de biotina sobre la producción de leche. En la investigación llevada a cabo por Rosendo et al. (2004), usando dosis de 20 mg de biotina/vaca/día, no se obtuvo respuesta significativa sobre la producción de leche, aun cuando sí se aumentó el nivel de glucosa en sangre, las vacas no la convirtieron en leche. Resultados similares, pero en vacas holstein en pastoreo, fueron aportados por Fitzgerald et al. (2000), quienes no encontraron ninguna mejoría del efecto del uso de 20 mg biotina/vaca/día sobre la producción láctea.

Al respecto, Bergsten et al. (2003) sugieren que la suplementación de nutrientes esenciales como la biotina permitiría obtener una respuesta en el animal cuando el suministro de ese nutriente es limitante en el metabolismo, de tal manera que, a mayores niveles de producción

de leche, las actividades de una o más enzimas que contienen biotina pueden verse limitadas. En el estudio de Fitzgerald et al. (2000) las vacas promediaron 20 kg/vaca/día; mientras que en el estudio de Bergsten et al. (2003) las vacas tuvieron un promedio de 32 kg/vaca/día, lo cual parece ser insuficiente para estimular la respuesta de la biotina. En la presente investigación las vacas fluctuaron entre 25,2 a 30 kg/vaca/día.

Otro factor importante para considerar es el sistema de alimentación de las vacas. Al igual que en el estudio de Fitzgerald et al. (2000), las vacas de la presente investigación se encontraban en pastoreo. Cuando las vacas consumen una dieta alta en fibra a través de un aporte considerable de forraje fresco, el cual contiene mayor cantidad de biotina que muchos cereales (Abel et al., 2001), es poco probable que la suplementación con biotina pueda ejercer su actividad a nivel ruminal.

A pesar de estos hallazgos, otros autores sí han obtenido respuestas positivas en producción de leche con la suplementación de biotina (Zimmerly y Weiss, 2001; Bergsten et al., 2003; Majee et al., 2003). De igual manera, un meta-análisis realizado por Lean y Rabiee (2011) respalda la suplementación de dicha vitamina porque se obtuvo un incremento en producción láctea de 1,3 kg/vaca/día. No obstante, estos autores mencionan que las respuestas en leche fueron ampliamente observadas en dietas basadas en ensilaje de maíz y alfalfa como las bases forrajeras de dietas de ración total mezclada (TMR, por sus siglas en inglés). En la presente investigación, la base forrajera consistió en un pasto kikuyo a 34 días de rebrote, cuya concentración de carbohidratos no fibrosos fue menor en comparación con niveles más altos (25% hasta 41%) reportados en diferentes estudios para ensilados de maíz (Cubero et al., 2010). Al respecto, distintas autorías (Abel et al., 2001) señalan que el efecto de la biotina se potencia al aumentar la cantidad de grano y disminuir la cantidad de forraje en la dieta.

En diversos reportes científicos se indica que la biotina puede aumentar la producción de leche de varias maneras, entre las cuales se menciona: un crecimiento en el consumo de

materia seca (CMS) causado por una mejoría en la salud podal (Zimmerly y Weiss, 2001), un cambio en la distribución de los nutrientes de los tejidos hacia la leche (Bergsten et al., 2003), un incremento en la producción de glucosa y un aumento en la digestión de la celulosa (Majee et al., 2003).

Con respecto a la suplementación con mezclas de aceites esenciales, no se cuantificó un efecto significativo sobre la producción de leche, lo cual coincide con la información disponible en trabajos científicos publicados. Diversos autores como Scharen et al. (2017), usando dosis de 1 g/vaca/día, no reportaron diferencias significativas en CMS ni en variables de producción (producción de leche, grasa y proteína en leche y NUL). De igual manera, en los estudios realizados por Tassoul y Shaver (2009) y Drong et al. (2016) no se encontraron efectos con la suplementación de esta mezcla de aceites esenciales en 40 vacas multíparas holstein. De manera similar, Benchaar et al. (2006) no obtuvieron respuestas diferenciadoras con la suplementación de 2 g/vaca/día.

Más allá de un efecto de dosis, la falta de respuesta en producción y composición de la leche de las vacas en la presente investigación se puede atribuir al efecto de adaptación por parte de los microorganismos ruminales (Scharen et al., 2017).

En cuanto a la suplementación con cromo orgánico, Bryan et al. (2004) no encontraron diferencias significativas en producción ni composición de la leche con la suplementación a razón de 6,25 mg/vaca/día en vacas en pastoreo, desde 6 semanas preparto hasta 21 semanas postparto. Por otro lado, Hayirli et al. (2001) sí observaron diferencias significativas porque aumentó la producción (+4 kg/vaca/día con una suplementación media) y después disminuyó (-1,5 kg/vaca/día con una suplementación alta) con dosis crecientes de un complejo cromo-metionina. De igual manera, Smith et al. (2005) también presentaron resultados positivos en producción de leche (+1,5 kg/vaca/día) con la suplementación de 0,03 a 0,06 mg/kg de peso vivo desde 21 días preparto hasta 28 días postparto.

Allen (2019) menciona que las respuestas variables a la suplementación con cromo se pueden atribuir a diversos factores como la fermentabilidad del almidón de la dieta, el momento de

la suplementación en relación con el parto, el tipo de compuesto de cromo utilizado y, además, destaca que la dosis a la cual se han obtenido resultados positivos en CMS y producción de leche es de 8 mg/vaca/día. En la presente investigación se estimó un consumo de 6 mg/vaca/día.

Rockwell y Allen (2016) establecen que la suplementación con cromo en el periparto ha tenido efectos inconsistentes en la producción de leche. En la prueba, llevada a cabo por estos autores, tuvieron variabilidad en la respuesta a la suplementación con cromo; la cual atribuyen, aparte de la dosis, a diferencias en la composición de la dieta, ya que evaluaron la suplementación de cromo en combinación con maíz molido con diferentes composiciones de humedad.

Los estudios que han reportado aumentos en producción de leche con la suplementación de cromo orgánico lo adjudican a un aumento en el CMS. Además, se menciona que la suplementación con cromo disminuye una posible deficiencia de este mineral, el cual se ha establecido en 0,5 mg/kg como un valor de referencia para obtener respuestas productivas en los animales (NASEM, 2021). En la presente investigación no se obtuvo diferencias significativas en producción de leche, quizás por un efecto de dosis y tiempo de suplementación.

Con respecto a calidad de leche, los valores obtenidos para los diferentes tratamientos se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición de la leche producida por las vacas de los 5 tratamientos.

Tratamiento	Sólidos totales (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	NUL (mg/dl)	CCS*
T1 (núcleo)	12,90 ± 0,22 ^a	4,10 ± 0,17 ^a	3,30 ± 0,07 ^a	4,75 ± 0,05 ^{ab}	18,50 ± 0,99 ^a	0,60 ± 0,26 ^b
T2 (testigo)	13,10 ± 0,25 ^a	4,20 ± 0,19 ^a	3,30 ± 0,08 ^a	4,88 ± 0,06 ^b	17,30 ± 0,97 ^a	1,30 ± 0,32 ^{ab}
T3 (biotina)	12,90 ± 0,26 ^a	4,20 ± 0,19 ^a	3,20 ± 0,07 ^a	4,68 ± 0,06 ^{ab}	17,20 ± 0,97 ^a	1,60 ± 0,33 ^{ab}
T4 (cromo)	12,70 ± 0,26 ^a	4,00 ± 0,19 ^a	3,30 ± 0,08 ^a	4,63 ± 0,06 ^a	15,40 ± 0,97 ^a	1,80 ± 0,33 ^b
T5 (aceites esenciales)	12,60 ± 0,23 ^a	3,80 ± 0,16 ^a	3,30 ± 0,07 ^a	4,71 ± 0,05 ^{ab}	16,60 ± 0,86 ^a	1,50 ± 0,27 ^{ab}

Letras diferentes en la misma columna (a, b) representan diferencias significativas ($p < 0.05$) según la prueba de Tukey.

*CCS= Valores transformados de acuerdo con el USDA (2005): $\log_2(\text{CCS}/100,000) + 3$.

Solo se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para la concentración de lactosa, siendo mayor en el tratamiento testigo con respecto al tratamiento cromo, y en el CCS, siendo menor en el tratamiento núcleo con respecto al tratamiento cromo.

Estos resultados son similares a lo reportado por otros autores (Yang et al., 1996; Al-Saiady et al., 2004; Kafilzadeh et al., 2012), quienes no encontraron diferencias en los valores de sólidos totales, grasa ni proteína, pero sí en el valor de lactosa en la leche. Esto puede deberse a una mejora en los valores de glucosa en sangre, la cual, a su vez, incrementa el valor de lactosa en leche, pues la glucosa es el principal regulador osmótico de la leche (Kafilzadeh et al., 2012).

Con respecto al CCS, las diferencias encontradas a favor del tratamiento núcleo pueden deberse a una sinergia en el efecto generado por la mezcla de los aditivos ofrecidos. Se han reportado mejoras en él atribuidas a la activación de la respuesta inmune de la glándula mamaria a través de neutrófilos y macrófagos, generada por la suplementación con biotina, cromo y vitamina D. Estos forman parte de este núcleo nutricional ofrecido a los animales (Bergsten et al., 2003; Smith et al., 2005; Poindexter, 2017).

También se han reportado efectos de la suplementación con biotina sobre el CCS de una forma indirecta a través de una mejoría en la salud podal. De esta manera, se evita que vacas con lesiones podales pasen más tiempo echadas, lo que podría aumentar la probabilidad de ingreso de bacterias en la ubre en escenarios de época lluviosa, principalmente (Fitzgerald et al., 2000).

Para el NUL no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados. Lo cual coincide con otros autores (Smith et al., 2005; Enjalbert et al., 2008; Scharen et al., 2017), quienes no han reportado cambios en este indicador metabólico después de suplementar a las vacas en producción con alguno de los aditivos evaluados en esta investigación.

Es importante destacar que los valores encontrados en este estudio (15,40 a 18,50 mg/dl) podrían considerarse ligeramente altos. Según lo que se reporta en investigaciones previas de zonas templadas, principalmente en Estados Unidos, (Hutjens y Chase, 2007; Cerón et al., 2014) recomiendan valores cercanos a los 14-16 mg/dl. Sin embargo, es importante mencionar también que, si bien no se analizó a profundidad el desempeño reproductivo de los animales en este estudio, los valores de NUL reportados no tuvieron ningún impacto negativo sobre indicadores reproductivos. Esto hace suponer que los valores de referencia en nuestras condiciones podrían no ser suficientes.

El NUL proviene de la degradación de la proteína a nivel ruminal, donde se libera amoníaco (producto de la acción de los microorganismos ruminales) y este pasa al torrente sanguíneo para ser absorbido en el hígado, el cual se encarga de transformar el amoníaco circulante en urea. La urea es liberada en la sangre (nitrógeno ureico en sangre o NUS) para ser reciclada por absorción de las paredes del rumen o por la saliva; también puede ser secretada en la leche (NUL) o puede ser eliminada en la orina (Cerón et al., 2014).

Según Hammond (1998), el NUL y el NUS son indicadores metabólicos que se pueden usar para determinar el estado proteico y energético de los bovinos en diferentes circunstancias;

como cambios en la alimentación, disponibilidad de forraje, puntos estratégicos del ciclo productivo, entre otras circunstancias.

Calificación de la condición corporal

Los valores de la calificación de condición corporal obtenidos para las vacas en estudio y para los cinco tratamientos evaluados se muestran en la Figura 1.

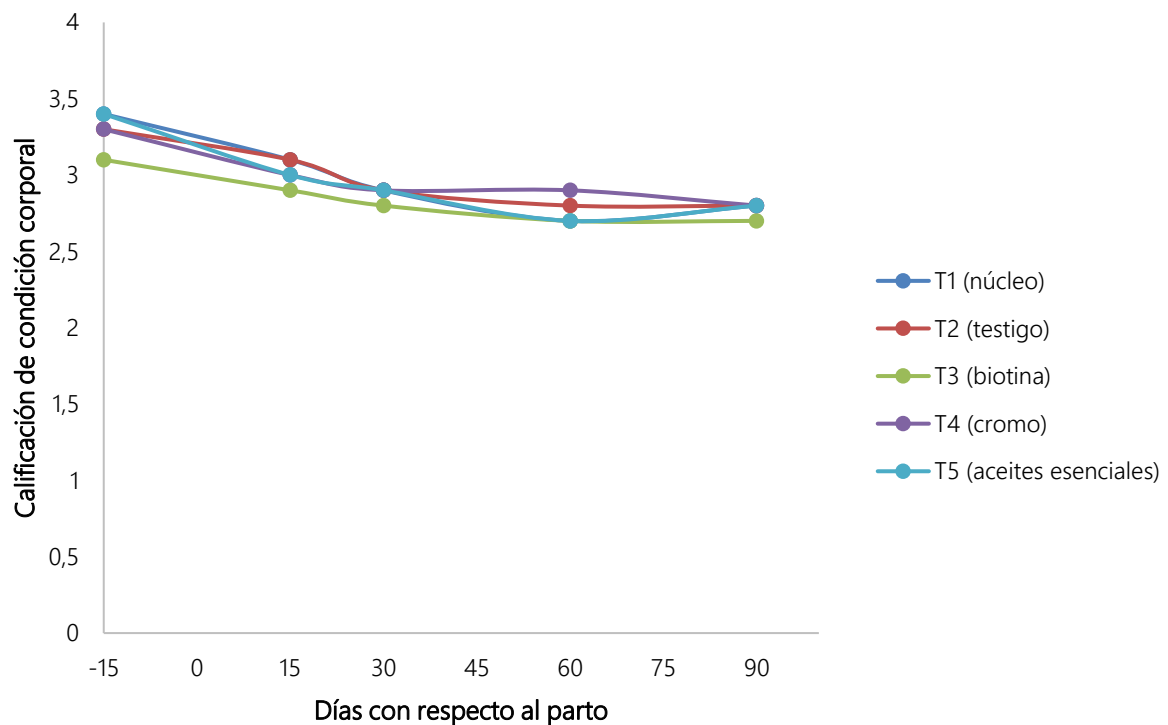


Figura 1. Curva de condición corporal obtenida para las vacas en estudio para los diferentes tratamientos evaluados.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos en ninguno de los días evaluados y el comportamiento de la curva de condición corporal en el presente estudio fue similar al obtenido por Saborío-Montero y Sánchez (2014) en vacas jersey de pastoreo en Costa Rica.

Para la suplementación con aditivos, Zimmerly y Weiss (2001) indican que la adición de biotina (10-20 mg/vaca/día) no tuvo efecto sobre la condición corporal, pero sí hubo un efecto de esta conforme pasaron los días postparto. Asimismo, Rosendo et al. (2004) tampoco obtuvieron diferencias significativas sobre la condición corporal con la dosificación de 20 mg de biotina/vaca/día.

En diversas investigaciones donde se evaluó la respuesta de los animales a la suplementación con 1 g de la mezcla de aceites esenciales, no se encontraron diferencias significativas sobre la condición corporal (Tassoul y Shaver, 2009; Drong et al., 2016; Scharen et al., 2017).

En cuanto a la suplementación con cromo orgánico, Hayirli et al. (2001) observaron vacas con mejor condición corporal y menores pérdidas de peso postparto cuando dosificaron a vacas holstein multíparas cantidades crecientes de cromo orgánico (0,03, 0,06 y 0,12 mg/kg de peso vivo) de 4 semanas preparto a 4 semanas postparto, lo cual se atribuyó a un mayor CMS en las vacas suplementadas con cromo. Además, indicaron que el CMS fue estimulado por una posible eliminación de una deficiencia de cromo causada por un aumento en los niveles de cortisol debido al estrés que se produce en las vacas durante el periparto.

Otra posible razón que explique un mayor CMS con la suplementación de cromo orgánico es que se ha demostrado una mejoría en la sensibilidad de los tejidos a la insulina, con lo cual se reduce la lipólisis y, por ende, se estimula el consumo (Rockwell y Allen, 2016; Allen, 2019).

Concentración de metabolitos sanguíneos

Glucosa

Los valores de glucosa en la sangre de las vacas para los diferentes tratamientos evaluados se muestran en la Figura 2.

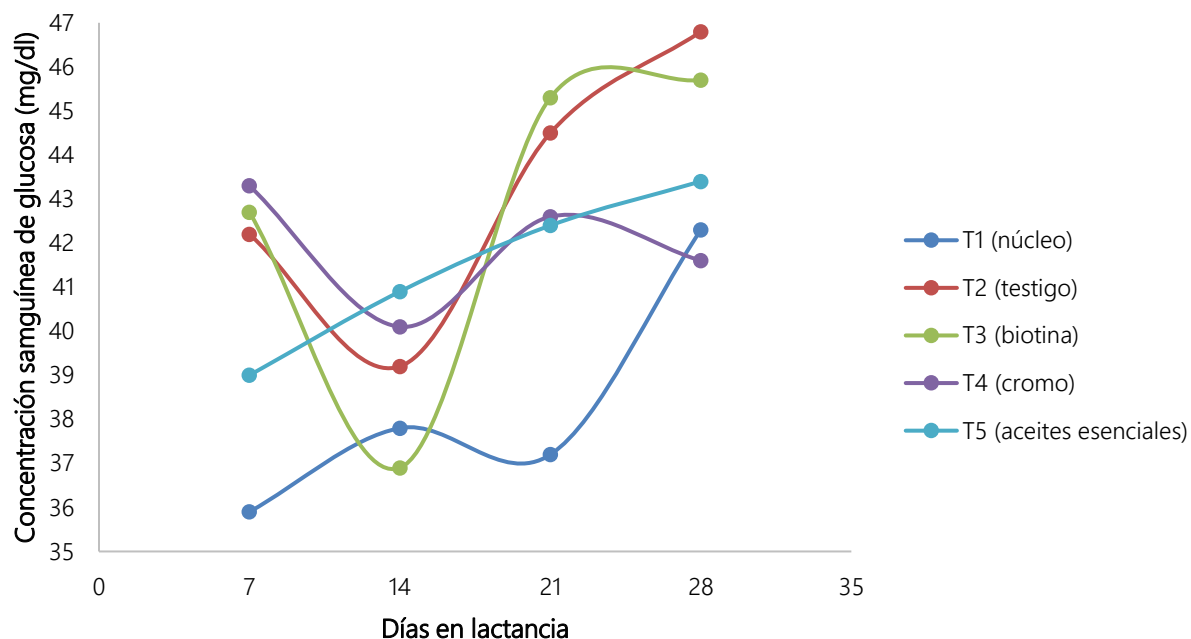


Figura 2. Concentraciones de glucosa en la sangre de las vacas en estudio obtenidas para los 5 tratamientos evaluados.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los distintos tratamientos evaluados en ninguno de los cuatro tiempos de muestreo (7, 14, 21 y 28 días en lactancia). Los valores reportados se encontraron dentro del rango reportado en otros estudios para animales en producción de leche (Butler, 2001; Galviz y Correa, 2002; Karcher et al., 2007; Bossaert et al., 2008; Sulieman et al., 2017).

Estos resultados son parecidos a los reportados por otros autores (Zimmerly y Weiss, 2001; Rosendo et al., 2004), quienes no determinaron diferencias significativas en los niveles de glucosa en sangre con la suplementación de biotina (10-20 mg/vaca/día), al igual que lo encontrado en este estudio con niveles de suplementación similares (20 mg/vaca/día)

En una investigación realizada por Majee et al. (2003), las vacas no presentaron diferencias significativas de glucosa en sangre con la suplementación de 20 mg de biotina/vaca/día a partir de 46 ± 8 días en lactancia. Una de las razones que puede explicar una ausencia en el efecto de la suplementación con biotina sobre el nivel de glucosa en sangre es que las concentraciones de metabolitos en el plasma no miden la cantidad del metabolito producido (Zimmerly y Weiss, 2001) o utilizado. Por esa razón pueden no ser buenos indicadores de los efectos de los tratamientos sobre el metabolismo de los nutrientes (Majee et al., 2003).

También se ha encontrado una relación entre los niveles de glucosa en sangre y la producción de leche. Herbein et al. (1985) reportaron que vacas con producciones de leche arriba del promedio tuvieron menor concentración de glucosa en plasma que vacas con producciones de leche promedio. En el estudio de Zimmerly y Weiss (2001), las concentraciones de glucosa en plasma y la producción de leche también aparentaron presentar una asociación negativa. Bergsten et al. (2003) sugieren que una mayor producción de leche aumenta la demanda de biotina requerida para la biosíntesis de glucosa, ácidos grasos y proteína.

No obstante, Rosendo et al. (2004) sí obtuvieron un aumento significativo sobre el nivel de glucosa en sangre con la suplementación de biotina a razón de 20 mg/vaca/día durante 16 días preparto y 30 mg/vaca/día durante 70 días postparto. Este incremento se mantuvo constante a través de las semanas postparto. Los autores refieren que la glucosa en plasma fue mayor en las vacas suplementadas con biotina en este estudio porque no convirtieron la glucosa adicional en leche, mientras que en los estudios mencionados anteriormente se aumentó la producción de leche, mas no así el nivel de glucosa en plasma con la suplementación de biotina.

Enjalbert et al. (2008) argumentan que la glucosa en plasma puede no ser un buen indicador de la disponibilidad de glucosa y que la disponibilidad de la glucosa suplementada pudo haber sido direccionada hacia la glándula mamaria para sostener un aumento en la producción de leche, sin aumentar la concentración a nivel plasmático.

Por otro lado, se ha reportado que las concentraciones de insulina después del parto tienen una heredabilidad moderada y se ha sugerido que vacas de alta producción de leche pueden tener una tendencia genética de menores valores de insulina en sangre. Al presentar menores valores de insulina en tejidos periféricos, en la vaca se genera un estado de ahorro de glucosa, con lo que aumenta la disponibilidad de este metabolito para la glándula mamaria (Bossaert et al., 2008).

Con respecto a la suplementación con aceites esenciales, los resultados reportados en diferentes ensayos sugieren que se les atribuyen mejoras en la fermentación ruminal. De esta manera aumentan la producción de propionato, generando glucosa y disminuyendo la producción de metano. También se ha reportado que modifican la peptidólisis y la desaminación. Sin embargo, los resultados no han sido consistentes, pues otros autores (Tassoul y Shaver, 2009; Drong et al., 2016; Scharen et al., 2017) han reportado ineffectividad de los aceites esenciales sobre la concentración de glucosa en sangre, lo cual puede deberse al largo periodo de exposición al producto y la consecuente adaptación de la microbiota ruminal. En el presente estudio no se encontraron diferencias atribuibles a la suplementación con estos aceites.

Benchaar et al. (2006) también señalan la posible adaptación de los microorganismos ruminales a los aceites esenciales. Esto se debe a que se ha observado que los efectos de diferentes compuestos de estos aceites sobre la fermentación microbiana en rumen desaparecen después de 6 días de incubación en sistemas de cultivo continuo.

La evidencia de la actividad antimicrobial *in vivo* de los aceites esenciales ha sido confusa hasta la fecha, probablemente por la capacidad de los microorganismos ruminales para adaptarse y degradar estos metabolitos secundarios. Asimismo, muchas de las concentraciones de aceites esenciales que han obtenido respuestas favorables en estudios de fermentación *in vitro* son demasiado altas para aplicaciones dentro del organismo (Benchaar y Greathead, 2011).

Otro punto que tomar en cuenta es que existe una variación considerable en el contenido de los compuestos activos en estos extractos debido a la variedad de la planta cultivada, condiciones de crecimiento y métodos de procesamiento, entre otros (Calsamiglia et al., 2007). Otros elementos que inciden en la respuesta son las dosis (Benchaar et al., 2006) y el tipo de ración (Calsamiglia et al., 2007).

Por otro lado, el cromo se ha vinculado al metabolismo de la glucosa. En la presente investigación no se encontraron diferencias en la concentración de glucosa atribuibles a la suplementación con cromo. Esto concuerda con lo reportado por Bryan et al. (2004), quienes no determinaron diferencias significativas en el nivel de glucosa sanguínea con la suplementación de 6,25 mg de cromo orgánico/vaca/día durante 6 semanas preparto y 21 semanas postparto.

De igual forma, Hayirli et al. (2001) no obtuvieron diferencias significativas con la suplementación de 8,3 y 7,7 mg/vaca/día durante 21 días preparto y 28 días postparto sobre los niveles de glucosa en sangre. Estos autores indican que la concentración de glucosa en plasma o la concentración de insulina en suero puede ser difícil de interpretar de manera separada en términos de evaluar el efecto del cromo, ya que la concentración de ambos metabolitos está armónicamente regulada entre ellos.

En la investigación de Hayirli et al. (2001) obtuvieron una menor relación insulina:glucosa en las vacas que fueron suplementadas con el complejo cromo-metionina en comparación con las no suplementadas, lo que sugiere una mejoría en la sensibilidad de los tejidos a la insulina (Subiyatno et al., 1996). Esto es de suma importancia, ya que, si bien en la presente investigación no se midió el nivel de insulina en sangre, una mejoría en la sensibilidad de los tejidos a esta hormona mediante la suplementación con cromo puede contrarrestar uno de los efectos que se producen en la vaca a raíz de un balance energético negativo (Bossaert et al., 2008). Este podría asociarse a una mejora en la producción o en menor desgaste de la condición corporal postparto.

β HBA

Los valores de β HBA en la sangre de las vacas del estudio se muestran en la Figura 3.

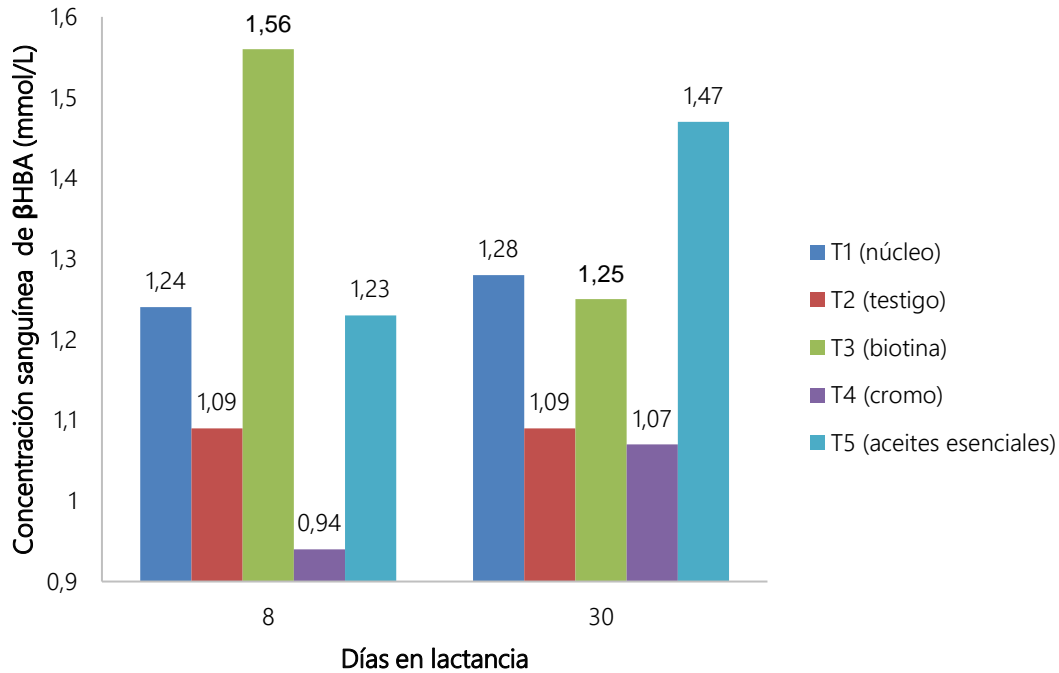


Figura 3. Concentraciones de β HBA en la sangre de las vacas en estudio obtenidas para los 5 tratamientos evaluados.

Del gráfico se desprende que no se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, es importante mencionar que, al utilizar los valores umbrales para cetosis tipo I y tipo II reportados por Saborío-Montero y Sánchez (2013) para sistemas de producción en Costa Rica, se encontraron incidencias mayores en las vacas del estudio actual. Se observó una incidencia del 25% de cetosis subclínica y 6,25% de cetosis clínica tipo I, mientras que la incidencia de cetosis subclínica fue del 21,20% y la cetosis clínica tipo II fue del 3,00%. Estos valores son significativamente superiores a los reportados por dichos autores, que fueron del 9,65% para la cetosis subclínica tipo I, 3,51% para la cetosis clínica tipo I, 4,27% para la cetosis subclínica tipo II y 0% para la cetosis clínica tipo II.

Por otro lado, Oetzel (2007) sugiere utilizar el valor de 10% de prevalencia de cetosis clínica como el valor a partir del cual deben revisarse las prácticas de manejo y alimentación del hato lechero para hacer las correcciones respectivas. Sin embargo, el autor brinda este dato a partir de información generada de hatos estabulados de la raza holstein. Saborío-Montero y Sánchez (2013) mencionan que vacas de la raza jersey presentan características de CMS diferentes a vacas de la raza holstein, que les permite depender menos de las reservas corporales durante el periodo de mayor riesgo a padecer cetosis tipo II. Por lo que podrían ser menos susceptibles a sufrir esta enfermedad metabólica.

Otra condición influyente en la aparición de cetosis tipo I es la deficiencia de energía en los animales. En esta investigación se puede apreciar que existe una deficiencia en la dieta de las vacas en producción en términos de energía proveniente de carbohidratos no fibrosos, específicamente de almidón; el cual dio 17,4% de la materia seca (aporte: 3,13 kg/d), en comparación con el nivel recomendado por Campabadal (1999) que oscila entre 25-35%.

Con respecto a los aditivos utilizados, no se han reportado diferencias significativas en los niveles de β HBA con la suplementación de biotina (Majee et al., 2003; Rosendo et al., 2004; Enjalbert et al., 2008). De igual manera, tampoco se han reportado diferencias significativas con la adición de cromo orgánico en vacas lecheras (Hayirli et al., 2001; Bryan et al., 2004).

En la suplementación con la mezcla de aceites esenciales, Drong et al. (2016) reportaron incrementos en los valores de β HBA en sangre entre los 15 y 56 días en lactancia, cuando suplementaron con 1 g/vaca/día a vacas holstein sobrecondicionadas desde 21 días preparto hasta 56 días postparto.

Al igual que se menciona para el caso de la glucosa, diferentes autores justifican la ausencia de efectos con la suplementación de la mezcla de aceites esenciales a la adaptación de los microorganismos ruminales ante los aceites esenciales. Además, las evaluaciones hechas *in vitro* con dosificaciones que no se pueden emplear *in vivo* pueden llevar a conclusiones poco precisas (Benchaar y Greathead, 2011; Scharen et al., 2017).

Enzimas hepáticas

La concentración de las enzimas AST y GGT en la sangre de las vacas del estudio se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Concentración (UI/L) de las enzimas AST y GGT en la sangre de las vacas para los diferentes tratamientos evaluados.

Tratamiento	AST		GGT	
	1 DL*	21 DL	1 DL	21 DL
T1 (núcleo)	95,60 ± 6,46	118,30 ± 7,76	15,30 ± 2,09	19,90 ± 2,73
T2 (testigo)	97,10 ± 6,12	94,80 ± 6,04	16,20 ± 2,36	17,20 ± 2,53
T3 (biotina)	81,30 ± 6,76	111,60 ± 8,31	17,10 ± 2,67	19,3 ± 3,02
T4 (cromo)	78,50 ± 6,13	109,10 ± 7,56	19,70 ± 2,85	21,8 ± 3,14
T5 (aceites esenciales)	101,30 ± 6,98	105,3 ± 7,18	14,90 ± 2,12	15,8 ± 2,28

*DL: días en lactancia.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos evaluados para ninguna de las enzimas evaluadas. Cabe mencionar que la AST y GGT son dos enzimas hepáticas utilizadas en el diagnóstico clínico de enfermedades hepatocelulares. La GGT se considera órgano-específica ya que es canalicular, mientras que la AST es hepatocelular pero también se ubica en células del músculo esquelético, cardíaco y eritrocitos, entre otros (Noro et al., 2013).

Con respecto a los valores encontrados para la AST, estos son mayores al valor de referencia establecido por el Laboratorio de Análisis Clínicos de la Universidad Nacional (94,8-118,3 y 70-90 UI/L). Sin embargo, son similares a los reportados por otros autores (Ceballos et al., 2002; Padilla, 2010). Valores crecientes de AST en plasma sanguíneo indican afectación en la función de los hepatocitos (Weber et al., 2015).

En cuanto a los niveles sanguíneos obtenidos para la GGT (14,9-21,8 UI/L), estos se mantienen cercanos del rango establecido por el Laboratorio mencionado anteriormente para esta enzima en sangre, el cual es de 20 a 48 UI/L. De acuerdo con Cozzi et al. (2011), incrementos en el contenido de GGT en suero reflejan daño a nivel hepático en ganado lechero. No obstante, también se puede observar un incremento en el contenido de esta enzima en vacas sanas, atribuible a un mayor estrés productivo en vacas multíparas en comparación con vacas primíparas.

Tal como se mencionó anteriormente, la enzima GGT es más específica del hígado que la AST, lo cual podría indicar que los niveles obtenidos de ambas enzimas en sangre se deban principalmente a estrés productivo y en menor grado a un posible daño a nivel hepático (Cozzi et al., 2011).

Calcio

La concentración sanguínea de calcio de las vacas en estudio para los diferentes tratamientos evaluados se muestra en la Figura 4.

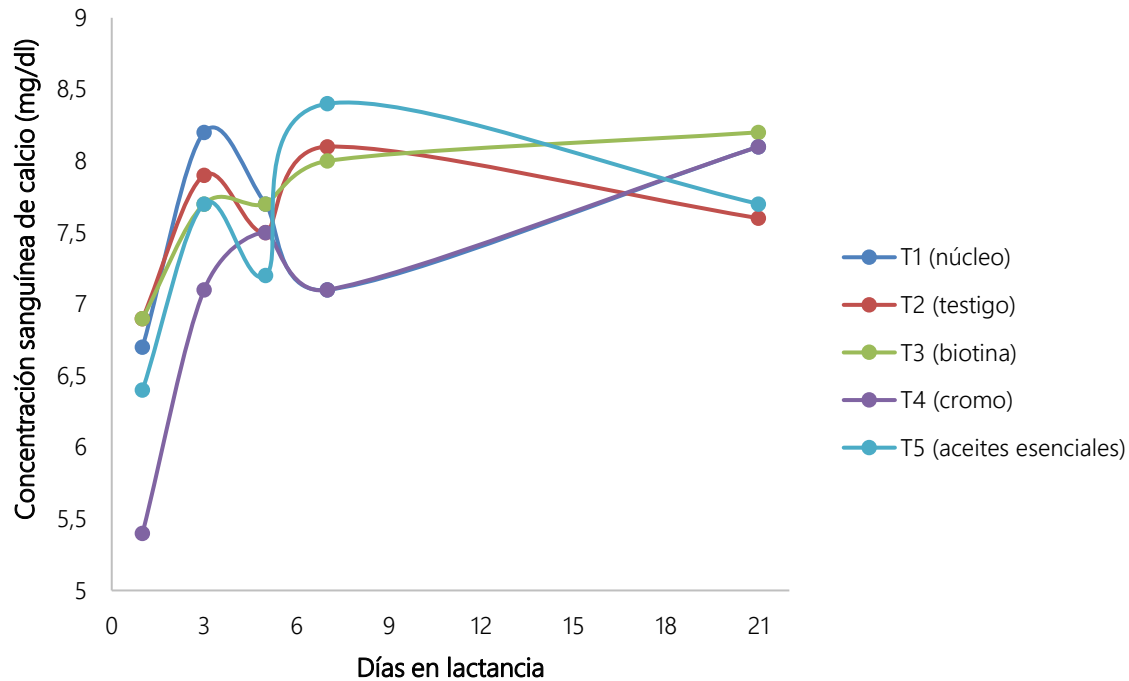


Figura 4. Concentraciones de calcio en la sangre de las vacas en estudio obtenidas para los 5 tratamientos evaluados.

No se encontraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, como se aprecia en la Figura 4, todas las vacas incluidas en el estudio presentaron valores de hipocalcemia subclínica el día 1 postparto. Lo cual coincide con lo reportado por Reinhardt et al. (2011), Sánchez y Saborío-Montero (2014a) y Albornoz et al. (2017), quienes mencionan que, durante el parto o poco tiempo después del mismo, existe una hipocalcemia subclínica en las vacas lecheras caracterizada por concentraciones de calcio en sangre entre 5,5 y 8,0 mg/dl.

Por otro lado, se aprecia una tendencia ascendente en dicho compuesto a nivel sanguíneo al término de los primeros 21 días de lactancia, lo cual es propio de la respuesta del organismo a la regulación del calcio (Venjakob et al., 2017; Guo et al., 2018).

En la presente investigación, al dosificar 1 mg de calcidiol/vaca/día no se logró incrementar de forma significativa los niveles de este metabolito en sangre durante el periodo establecido similar a lo encontrado por diversos autores (Poindexter, 2017; Guo et al., 2018; Rodney et al., 2018b). Esta nula respuesta al calcidiol se ve afectada por dosis (Taylor et al., 2008), tiempo de suplementación, tipo y etapa productiva de los animales (Rodney et al., 2018b) y la forma del suplemento.

Otros autores (Wilkens et al., 2012; Weiss et al., 2015) sí reportaron mayores concentraciones de calcio sanguíneo al día 1 postparto cuando se suplementó con 3 mg de calcidiol/vaca/día a 28 vacas holstein durante 10 días preparto, representando 3 veces la dosis utilizada en este experimento y que podría explicar las diferencias en la respuesta animal. Además, es importante mencionar que en ambos estudios se suministró el calcidiol en conjunto con sales aniónicas, lo cual demostró un efecto sinérgico sobre la homeostasis del calcio.

Fósforo

Los contenidos de fósforo en suero sanguíneo de las vacas pertenecientes a los 5 tratamientos se muestran en la Figura 5.

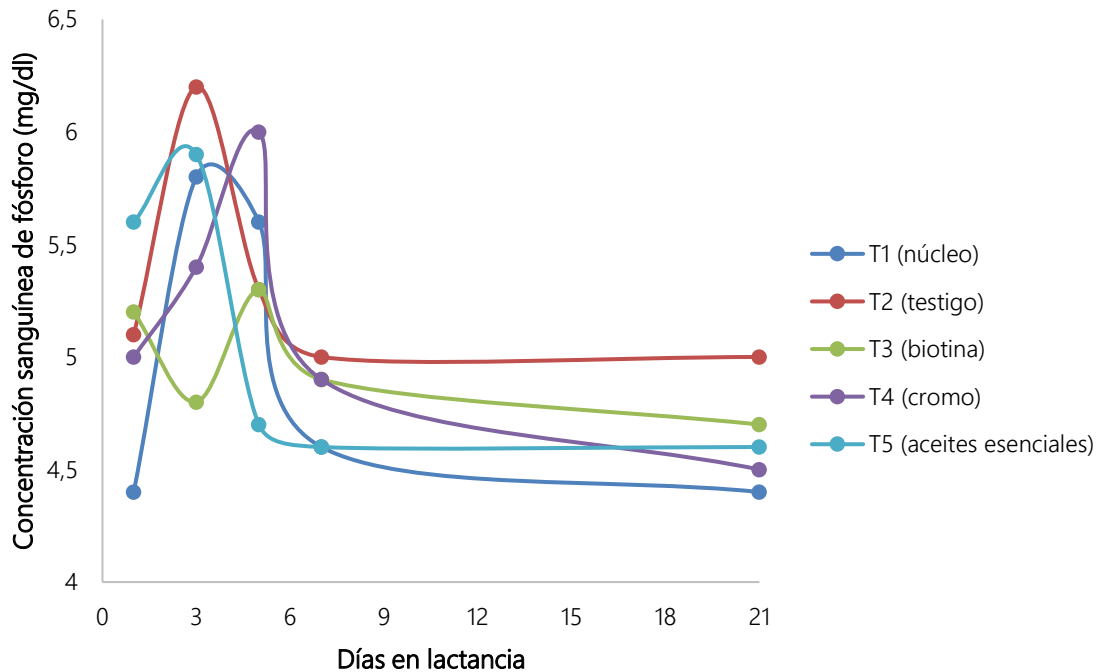


Figura 5. Concentraciones de fósforo en la sangre de las vacas en estudio obtenidas para los 5 tratamientos evaluados.

No se detectaron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos. Los valores se encontraron dentro de los rangos ideales (Taylor et al., 2008; Albornoz, 2017).

Se han obtenido respuestas positivas en la concentración de calcio y fósforo preparto con la suplementación de calcidiol (Wilkins et al., 2012; Rodney et al., 2018a). En estos estudios se suplementó con dicho compuesto en la dieta preparto con el fin de mejorar los niveles de calcio y fósforo postparto. Sin embargo, los autores mencionan que existe una serie de factores que inciden en la respuesta de los animales. Una de las causas que menciona la literatura es que, al mejorar los niveles de calcio y fósforo antes del parto, se influye en la activación de los mecanismos homeostáticos que se desencadenan de forma natural en las vacas al momento del parto, lo cual afecta de manera negativa la absorción y resorción de calcio y fósforo en intestino y hueso, respectivamente, y la reabsorción del calcio en el riñón (Gibbens, 2012; Weiss et al., 2015).

Con respecto a los mecanismos homeostáticos, Rodney et al. (2018a) obtuvieron con la suplementación de 3 mg de calcidiol/vaca/día mayores niveles de fósforo sanguíneo en la etapa preparto. Sin embargo, se conoce que un aumento de fósforo preparto a nivel sanguíneo estimula la producción y secreción de una proteína denominada factor estimulante de los fibroblastos (FGF-23) por parte de los osteoblastos y osteocitos, quienes regulan el fosfato en sangre y además inhiben la enzima 1- α -hidroxilasa. Esta se encarga de transformar el calcidiol a calcitriol, por lo que se suprime la síntesis del segundo, y, por ende, la absorción de calcio y fósforo postparto. Además, el FGF-23 estimula el catabolismo del calcidiol y calcitriol ya que activa la enzima 24-hidroxilasa (Poindexter, 2017; Rodney et al., 2018a).

A pesar de que los metabolitos de la vitamina D, en este caso el calcidiol, promueven una mayor absorción a nivel intestinal de fósforo (Rodney et al., 2018a; Poindexter, 2017), no se detectó efecto de este compuesto suministrado debido a la dosis empleada (1 mg calcidiol/vaca/día) y a la etapa de suplementación (preparto o postparto).

Magnesio

La concentración sanguínea de magnesio de las vacas en estudio para los diferentes tratamientos evaluados se muestra en la Figura 6.

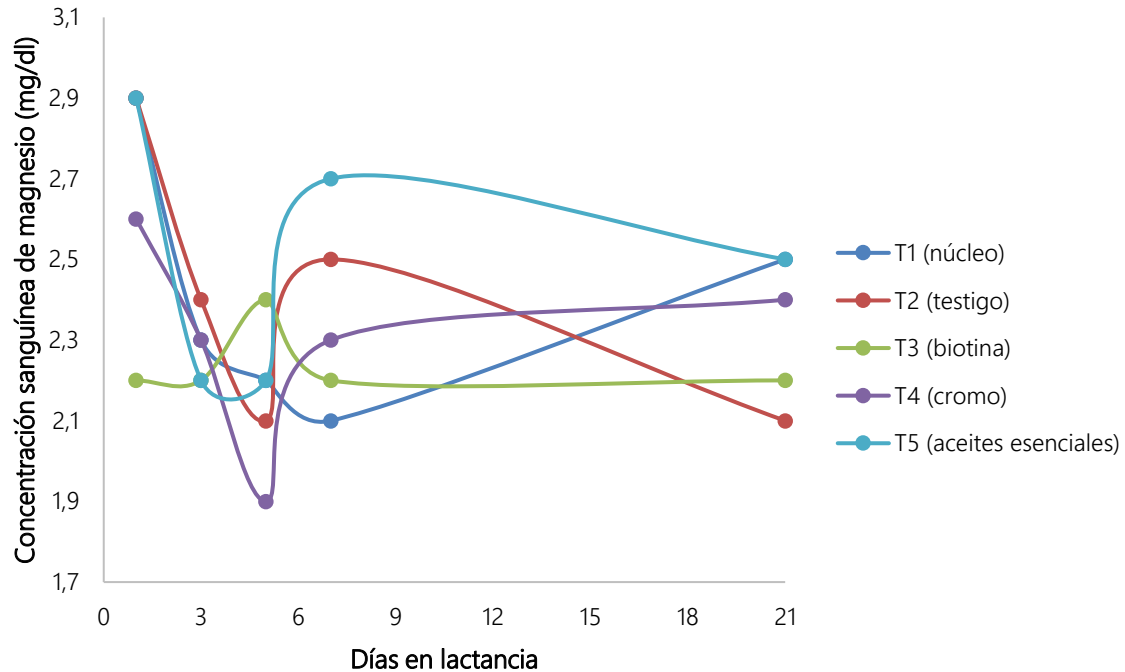


Figura 6. Concentraciones de magnesio en la sangre de las vacas en estudio obtenidas para los 5 tratamientos evaluados.

Al igual que en el caso del calcio y el fósforo, no se obtuvo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos y los valores obtenidos para todas las vacas en el estudio superaron los niveles críticos ($\leq 1,8$ mg/dl) durante los 21 días postparto (Sánchez y Saborío-Montero, 2014b).

En diversos estudios donde se ha evaluado la respuesta de la suplementación con calcidiol en vacas lecheras, se han obtenido resultados inconsistentes sobre los niveles de calcio y fósforo y no se ha obtenido respuesta alguna sobre los niveles de magnesio (Weiss et al., 2015; Rodney et al., 2018a; Rodney et al., 2018b).

Al respecto, diversos autores indican que debido a que no existen mecanismos hormonales para mantener la homeostasis del magnesio, el animal requiere del suministro constante de este mineral en la dieta para prevenir una hipomagnesemia (Sánchez, 2000; NRC, 2001; Kronqvist, 2011). Además, al contrario de lo que ocurre con el calcio, el nivel de magnesio en

sangre no difiere conforme aumentan los partos en las vacas ni con respecto a la raza de los animales (Sánchez y Saborío-Montero, 2014b).

Kronqvist (2011) señala que una de las razones que explica el comportamiento descendente del magnesio sanguíneo es que, al momento del parto y con la consecuente producción de calostro, se da una alta salida de este mineral hacia el calostro, por lo que el nivel de magnesio durante el periparto disminuye. También se ha encontrado una relación entre el comportamiento ascendente del calcio en los primeros días postparto con el comportamiento descendente del magnesio. De acuerdo con Vieira-Neto et al. (2017), esta relación se atribuye a que la activación de los receptores sensibles al calcio, inducida por un incremento en el calcio iónico, inhibe el sistema cotransportador de $\text{Na}^+/\text{K}^+/2\text{Cl}^-$, el cual es importante para la reabsorción paracelular de calcio y magnesio. Los cambios esperados en este sistema ocasionan una reducción en el voltaje positivo del lumen, que reduce la reabsorción paracelular mineral en el riñón.

Otro factor que predispone a las vacas lecheras a padecer de hipomagnesemia es el contenido de nitrógeno no proteico de los alimentos. Principalmente en los forrajes, donde pueden oscilar entre 20-40% del nitrógeno total, el cual produce un aumento en la concentración de amoníaco a nivel ruminal afectando la absorción de magnesio debido a un aumento en el pH ruminal (Sánchez, 2000; NRC, 2001; Kronqvist, 2011; Albornoz et al., 2017).

CONSIDERACIONES FINALES

Bajo las condiciones en que se desarrolló el presente estudio, la suplementación con el núcleo nutricional no tuvo efectos significativos sobre la mayoría de las variables productivas evaluadas, así como sobre la concentración de los metabolitos sanguíneos evaluados. Es importante considerar que los resultados obtenidos se pueden deber a la etapa productiva y

a la dosis evaluada. Esto debido a que, como se reporta en la literatura, estos elementos influyen directamente sobre la respuesta animal. Para futuras investigaciones, se recomienda tomar en cuenta el sistema de producción, el manejo alimenticio y las dietas, en las cuales se pueda lograr una mayor respuesta de los aditivos utilizados e incrementar la dosis de los suplementos. Finalmente, se recomienda realizar mediciones de insulina en sangre de las vacas suplementadas con este tipo de aditivos. Esto con el objetivo de integrar más factores que permitan demostrar el efecto de estos aditivos sobre el desempeño de los animales.

AGRADECIMIENTOS

Los investigadores agradecen a los señores Julio Sancho y Álvaro Sancho, propietarios de la finca El Plantón, así como al personal de la finca; en especial al señor Johnny Calderón por el apoyo y aportes brindados durante la realización de esta investigación. Asimismo, a la empresa Bayer y al ingeniero Jeffrey Sánchez Salas por toda la ayuda brindada. Finalmente, al personal de los laboratorios de la Cooperativa Dos Pinos, del Centro de Investigación en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica y del Laboratorio de Análisis Clínicos de la Universidad Nacional por el soporte en la realización de los análisis de laboratorio.

LITERATURA CITADA

- Abel, H.J., I. Immig, C. Gomez y W. Steinberg. 2001. Effect of increasing dietary concentrate levels on microbial biotin metabolism in the artificial rumen simulation system (rusitec). *Archives of Animal Nutrition*, 55 (4): 371-376. doi: 10.1080/17450390109386203.
- Albornoz, L., J.P. Albornoz, J.C. Cruz, L.E. Fidalgo, L. Espino, M. Morales, G. Ruprecht, J. Piaggio y J.M. Verdes. 2017. Estudio comparativo de los niveles de calcio, fósforo y magnesio durante el periparto en vacas lecheras en diferentes sistemas de producción en Uruguay y España. *Veterinaria Montevideo*, 205 (53): 4-12.

- Allen, M.S. 2019. The impact of chromium supplementation on dairy cattle performance. Michigan State University, Michigan, Estados Unidos. https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/44759/Pre4Allen_Manuscript.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Consultado 7 mar., 2023).
- Al-Saiady, M.Y., M.A. Al-Shaikh, S.I. Al-Mufarrej, T.A. Al-Showeimi, H.H. Mogawer y A. Dirrar. 2004. Effect of chelated chromium supplementation on lactation performance and blood parameters of Holstein cows under heat stress. *Animal Feed Science and Technology*, 117 (3–4): 223-233. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2004.07.008.
- Barrientos, O. y L. Villegas. 2010. Sector agropecuario, cadena productiva de leche: políticas y acciones. SEPSA, Costa Rica. p. 11.
- Benchaar, C. y H. Greathead. 2011. Essential oils and opportunities to mitigate enteric methane emissions from ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 166: 338-355. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.024.
- Benchaar, C., H.V. Petit, R. Berthiaume, T.D. Whyte y P.Y. Chouinard. 2006. Effects of addition of essential oils and monensin premix on digestion, ruminal fermentation, milk production, and milk composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 89 (11): 4352-4364. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72482-1.
- Bergsten, C., P.R. Greenough, J.M. Gay, W.M. Seymour y C.C. Gay. 2003. Effects of biotin supplementation on performance and claw lesions on a commercial dairy farm. *Journal of Dairy Science*, 86 (12): 3953-3962. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)74005-3.
- Bossaert, P., J. Leroy, S. De Vliegher y G. Opsomer. 2008. Interrelations between glucose-induced insulin response, metabolic indicators, and time of first ovulation in high-yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 91 (9): 3363-3371. doi: 10.3168/jds.2008-0994.
- Bryan, M.A., M.T. Socha y D.J. Tomlinson. 2004. Supplementing intensively grazed late-gestation and early-lactation dairy cattle with chromium. *Journal of Dairy Science*, 87 (12): 4269-4277. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73571-7.
- Butler, W. 2001. Nutritional effects on resumption of ovarian cyclicity and conception rate in postpartum dairy cows. *British Society of Animal Science*. 26: 133-145. doi: 10.1017/S0263967X00033644.

- Calsamiglia, S., M. Busquet, P.W. Cardozo, L. Castillejos y A. Ferret. 2007. Invited review: essential oils as modifiers of rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*, 90 (6): 2580-2595. doi: 10.3168/jds.2006-644.
- Campabadal, C. 1999. Curso Prácticas de Alimentación (Formulación de alimentos para animales). 30pp.
- Ceballos, A., N. Villa, A. Bohórquez, J. Quiceno, M. Jaramillo y G. Giraldo. 2002. Análisis de los resultados de perfiles metabólicos en lecherías del trópico alto del eje cafetero colombiano. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15 (1): 26-35.
- Cerón, M.F., A.F. Henao, O.D. Múnera, A.C Herrera, A. Díaz, A.M. Parra y C.H. Tamayo. 2014. Concentración de nitrógeno ureico en leche: interpretación y aplicación práctica. Fondo Editorial Biogénesis, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 18 pp.
- Cozzi, G., L. Ravarotto, F. Gottardo, A.L. Stefani, B. Contiero, L. Moro, M. Brscic y P. Dalvit. 2011. Short communication: reference values for blood parameters in Holstein dairy cows: effects of parity, stage of lactation, and season of production. *Journal of Dairy Science*, 94 (8): 3895-3901. doi: 10.3168/jds.2010-3687.
- Cubero, J., A. Rojas y R. WingChing. 2010. Uso del inóculo microbial elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo. *Agronomía Costarricense*, 34 (2): 237-250. doi: 10.15517/rac.v34i2.3634.
- Drong, C., U. Meyer, D. von Soosten, J. Frahm, J. Rehage, G. Breves y S. Danicke. 2016. Effect of monensin and essential oils on performance and energy metabolism of transition dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100: 537-551. doi: 10.1111/jpn.12401.
- Enjalbert, F., M. Nicot y A. Packington. 2008. Effects of peripartum biotin supplementation of dairy cows on milk production and milk composition with emphasis on fatty acids profile. *Livestock Science*, 114: 287-295. doi: 10.1016/j.livsci.2007.05.013.
- Ferguson, J.D., D.T. Galligan y N. Thomsen. 1994. Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 77: 2695-2703. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(94)77212-X.

- Fitzgerald, T., B. Norton, R. Elliott, H. Podlich y O. Svendsen. 2000. The influence of long-term supplementation with biotin on the prevention of lameness in pasture fed dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83 (2): 338-344. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)74884-3.
- Gaines, W.L. 1928. The energy basis for measuring milk yield in dairy cows. *Illinois Agricultural Experimental Station Bulletin 308*. University of Illinois Agricultural Experiment Station, Urbana. p. 40.
- Galviz, R. y H. Correa. 2002. Interacciones entre el metabolismo y la reproducción en la vaca lechera: ¿es la actividad gluconeogénica el eslabón perdido?. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15 (1): 35-50. doi: 10.17533/udea.rccp.323787.
- Gibbens, N. 2012. Influence of 25-hydroxyvitamin D and anionic salts on the calcium status of dairy cattle. Tesis M.Sc., Universidad de Pretoria, Pretoria, Sudáfrica. p. 83.
- Guo, J., A. Jones, D. Givens, J. Lovegrove y K. Kliem. 2018. Effect of dietary vitamin D3 and 25-hydroxyvitamin D3 supplementation on plasma and milk 25-hydroxyvitamin D3 concentration in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 101(4): 3545-3553. doi: 10.3168/jds.2017-13824.
- Hammond, A. 1998. Use of BUN and MUN as guides for protein and energy in supplementation in cattle. *Revista Corpoica*, 2 (2): 44-48.
- Hayirli, A., D.R. Bremmer, S.J. Bertics, M.T. Socha y R.R. Grummer. 2001. Effect of chromium supplementation on production and metabolic parameters in periparturient dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84 (5): 1218-1230. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74583-3.
- Herbein, J., R. Aiello, L. Eckler, R. Pearson y R. Akers. 1985. Glucagon, insulin, growth hormone, and glucose concentrations in blood plasma of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 68: 320-325. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(85)80828-6.
- Hutjens, M. y L. Chase. 2007. Interpreting milk urea nitrogen (MUN) values. USDA, Estados Unidos. https://www.academia.edu/10144605/Interpreting_Milk_Urea_Nitrogen_MUN_Values. (Consultado 7 mar., 2023).
- Kafilzadeh, F., H.K. Shabankareh y M.R. Targhibi. 2012. Effect of chromium supplementation on productive and reproductive performances and some metabolic parameters in late gestation and early lactation of dairy cows. *Biological Trace Element Research*, 149: 42-49. doi: 10.1007/s12011-012-9390-0.

- Karcher, E., M. Pickett, G. Varga y S. Donkin. 2007. Effect of dietary carbohydrate and monensin on expression of gluconeogenic enzymes in liver of transition dairy cows. *Journal of Animal Science*, 85: 690-699. doi: 10.2527/jas.2006-369.
- Kronqvist, C. 2011. Minerals to dairy cows with focus on calcium and magnesium balance. Tesis de doctorado, Universidad de Ciencias Agrarias de Suecia, Uppsala, Suecia. p. 66.
- Lean, I. y R. Rabiee. 2011. Effect of feeding biotin on milk production and hoof health in lactating dairy cows: A quantitative assessment. *Journal of Dairy Science*, 9 (4): 1465-1476. doi: 10.3168/jds.2010-3682.
- Majee, D., E. Schwab, S. Bertics, W. Seymour y R. Shaver. 2003. Lactation performance by dairy cows fed supplemental biotin and a B-vitamin blend. *Journal of Dairy Science*, 86 (6): 2106-2112. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73800-4.
- Martínez, N., R.M. Rodney, E. Block, L.L. Hernández, C.D. Nelson, I.J. Lean y J.E.P. Santos. 2018. Effects of prepartum dietary cation-anion difference and source of vitamin D in dairy cows: lactation performance and energy metabolism. *Journal of Dairy Science*, 101 (3): 1-19. doi: 10.3168/jds.2017-13739.
- McGrath, J., S. Duval, L. Tamassia, M. Kindermann, R. Stemmler, V.N. De Gouvea, T. Acedo, I. Immig, S. Williams y P. Celi. 2017. Nutritional strategies in ruminants: a lifetime approach. *Research in Veterinary Science*, 116: 28-39. doi: 10.1016/j.rvsc.2017.09.011.
- NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine). 2021. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/25806.
- Noro, M., P. Cid, C. Wagemann, V. Arnés y F. Wittwer. 2013. Valoración diagnóstica de enzimas hepáticas en perfiles bioquímicos sanguíneos de vacas lecheras. *Revista MVZ Córdoba*, 18 (2): 3474-3479. doi: 10.21897/rmvz.170.
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Revised Edition*. National Academies Press, Washington, DC. Estados Unidos. p. 381.

- Oetzel, G.R. 2007. Herd-level ketosis – Diagnosis and risk factors. American Association of Bovine Practitioners, Vancouver, Canadá. <https://www.vetmed.wisc.edu/dms/fapm/fapmtools/2nutr/ketosis.pdf>. (Consultado 7 mar., 2023).
- Padilla, R. 2010. Perfiles metabólicos en bovinos especializados en producción de leche de la raza Holstein, en la zona del Volcán Poás: determinación de valores referenciales. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. p. 53.
- Poindexter, M. 2017. Effects of supplemental 25-hydroxyvitamin D3 and vitamin D3 on mineral concentrations and mastitis resistance in lactating dairy cows. Tesis M.Sc., Universidad de Florida, Florida, Estados Unidos. p. 114.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Reinhardt, T., J. Lippolis, B. McCluskey, J. Goff y R. Horst. 2011. Prevalence of subclinical hypocalcemia in dairy herds. *The Veterinary Journal*, 188: 122-124. doi: 10.1016/j.tvj.2010.03.025.
- Rockwell, R.J. y M.S. Allen. 2016. Chromium propionate supplementation during the peripartum period interacts with starch source fed postpartum: Production responses during the immediate postpartum and carryover periods. *Journal of Dairy Science*, 99 (6): 4453–4463. doi: 10.3168/jds.2015-10344.
- Rodney, R.M., P. Celi, J. McGrath, H. Golder, S. Anderson, D. McNeill, D. Fraser y I. Lean. 2018b. Metabolic and production responses to calcidiol treatment in mid-lactation dairy cows. *Animal Production Science*, 59 (3): 449-460. doi: 10.1071/AN16770.
- Rodney, R.M., N. Martínez, E. Block, L.L. Hernandez, P. Celi, C.D. Nelson y J.E.P. Santos. 2018a. Effects of prepartum dietary cation-anion difference and source of vitamin D in dairy cows: vitamin D, mineral, and bone metabolism. *Journal of Dairy Science*, 101 (3): 1-25. doi: 10.3168/jds.2017-13740.
- Rosendo, O., C.R. Staples, L.R. McDowell, R. McMahon, L. Badinga, F.G. Martin, J.F. Shearer, W.M. Seymour y N.S. Wilkinson. 2004. Effects of biotin supplementation on peripartum performance and metabolites of Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 87 (8): 2535-2545. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73378-0.

- Saborío-Montero, A. 2012. Cetosis subclínica: una enfermedad metabólica silenciosa presente en las lecherías. *UTN Informa*, 62: 25-30.
- Saborío-Montero A. y J.M. Sánchez. 2013. Prevalencia y factores de riesgo relacionados con la cetosis clínica y subclínica tipo I y II en un hato de vacas Jersey en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 37 (2): 17-29.
- Saborío-Montero, A. y J.M. Sánchez. 2014. Evaluación de la condición corporal en un hato de vacas Jersey en pastoreo en la zona alta de Cartago. Variaciones durante el ciclo productivo. *Agronomía Costarricense*, 38 (1): 55-65.
- Salazar, C. 2019. Situación y perspectivas del sector lácteo nacional e internacional. Cámara Nacional de Productores de Leche, Curso Ganado de leche. Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Sánchez, J.M. 2000. Nutrición energética del ganado lechero. *Nutrición Animal Tropical*, 6 (1): 97-127.
- Sánchez, J.M. y A. Saborío-Montero. 2014a. Prevalencia de hipocalcemia en cuatro hatos Jersey en pastoreo en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 38 (2): 33-41.
- Sánchez, J.M. y A. Saborío-Montero. 2014b. Hipocalcemia e hipomagnesemia en un hato de vacas Holstein, Jersey y Guernsey en pastoreo. *Agronomía Costarricense*, 38 (2): 55-65.
- Scharen, M., C. Drong, K. Kiri, S. Riede, M. Gardener, U. Meyer, J. Hummel, T. Urich, G. Breves y S. Dänicke. 2017. Differential effects of monensin and a blend of essential oils on rumen microbiota composition of transition dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100: 2765–2783. doi: 10.3168/jds.2016-11994.
- Smith, K., M. Waldron, J. Drackley, M. Socha y T. Overton. 2005. Performance of dairy cows as affected by prepartum dietary carbohydrate source and supplementation with chromium throughout the transition period. *Journal of Dairy Science* 88 (1): 255–263. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72683-7.
- Steel, R.G.D., J.H. Torrie y D.A. Dicky. 1997. Principles and Procedures of Statistics, A Biometrical Approach. 3er Edición, McGraw Hill, Inc. Book Co., Nueva York, Estados Unidos. p. 352-358.
- Subiyatno, A., D. N. Mowat y W. Z. Yang. 1996. Metabolite and hormonal responses to glucose or propionate infusions in periparturient dairy cows supplemented with chromium. *Journal of Dairy Science*, 79: 1436–1445. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(96)76502-5.

- Suliaman, M., S. Makawi y K. Ibrahim. 2017. Association between postpartum blood levels of glucose and urea and fertility of cross-bred dairy cows in Sudan. *South African Journal of Animal Science*, 47 (5): 595-605. doi: 10.4314/sajas.v47i5.2.
- Tassoul, M.D. y R.D. Shaver. 2009. Effect of a mixture of supplemental dietary plant essential oils on performance of periparturient and early lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 92 (4): 1734-1740. doi: 10.3168/jds.2008-1760.
- Taylor, M., K. Knowlton, M. McGilliard, W. Seymour y J. Herbein. 2008. Blood mineral, hormone, and osteocalcin responses of multiparous Jersey cows to an oral dose of 25-hydroxyvitamin D3 or vitamin D3 before parturition. *Journal of Dairy Science*, 91 (6): 2408-2416. doi: 10.3168/jds.2007-0750.
- Venjakob, P., S. Borchardt y W. Heuwieser. 2017. Hypocalcemia—cow-level prevalence and preventive strategies in German dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 100 (11): 9258-9266. doi: 10.3168/jds.2016-12494.
- Vieira-Neto, A., I.R.P. Lima, F. Lopes, C. Lopera, R. Zimpel, L.D.P. Sinedino, K.C. Jeong, K. Galvao, W.W. Thatcher, C.D. Nelson y J.E.P. Santos. 2017. Use of calcitriol to maintain postpartum blood calcium and improve immune function in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 100 (7): 5805-5823. doi: 10.3168/jds.2016-12506.
- Weber, C., B. Losand, A. Tuchscherer, F. Rehbock, E. Blum, W. Yang, R. Bruckmaier, P. Sanftleben y H. Hammon. 2015. Effects of dry period length on milk production, body condition, metabolites, and hepatic glucose metabolism in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98 (3): 1772-1785. doi: 10.3168/jds.2014-8598.
- Weiss, W.P., E. Azem, W. Steinberg y T.A. Reinhardt. 2015. Effect of feeding 25-hydroxyvitamin D3 with a negative cation-anion difference diet on calcium and vitamin D status of periparturient cows and their calves. *Journal of Dairy Science*, 98 (8): 5588-5600. doi: 10.3168/jds.2014-9188.
- Wilkins, M.R., I. Oberheide, B. Schroder, E. Azem, W. Steinberg y G. Breves. 2012. Influence of the combination of 25-hydroxyvitamin D3 and a diet negative in cation-anion difference on peripartal calcium homeostasis of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95 (1): 151-164. doi: 10.3168/jds.2011-4342.

Yang, W.Z., D.N. Mowat, A. Subiyatno y R. Liptrap. 1996. Effect of chromium supplementation on early lactation performance of Holstein cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 79: 221–230. doi: 10.4141/cjas96-034.

Zimmerly, C. A. y W.P. Weiss. 2001. Effects of supplemental dietary biotin on performance of Holstein cows during early lactation. *Journal of Dairy Science*, 84 (2): 498–506. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74500-6.