

# Aplicación de L-carnitina parenteral a vacas de raza Holstein

*Aplicação de L-Carnitina parenteral á vacas leiteiras de raza Holstein*

*Use of parenteral L-Carnitine in breed Holstein cows*

Alcides Zabala Mendoza, Esp.<sup>1</sup>  
Ángel María Giraldo Mejía, DrSc.<sup>2</sup>  
Héctor Jairo Correa Cardona, MSc, Ph.D.<sup>3</sup>

**Recibido:** 3 de mayo de 2021

**Aprobado:** 1 de junio de 2021

**Publicado:** 30 de junio de 2021

**Cómo citar este artículo:**

Zabala-Mendoza A, Giraldo-Mejía Á, Correa-Cardona HJ. Aplicación de L-carnitina parenteral a vacas de raza Holstein. Spei Domus. 2021;17(1): 1-22.  
doi: <https://doi.org/10.16925/2382-4247.2021.01.01>

---

Artículo de investigación. <https://doi.org/10.16925/2382-4247.2021.01.01>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia.

Correo electrónico: azabalam@unal.edu.co

<sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia.

Correo electrónico: agiraldom@unal.edu.co

<sup>3</sup> Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia.

Correo electrónico: hjcorreac@unal.edu.co



## Resumen

**Introducción:** la carnitina es clave en el adecuado metabolismo de los lípidos por lo que su deficiencia puede desencadenar problemas metabólicos y productivos durante el periparto, por esto, el objetivo de este estudio es evaluar la aplicación parenteral de diversas dosis de L-carnitina a vacas durante el periparto.

**Metodología:** cada tratamiento estuvo conformado por seis vacas entre el segundo y sexto parto en vacas Holstein de alta producción, fueron alimentadas con pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* [Hochst. ex Chiov.] Morrone) y un suplemento alimenticio. Se aplicaron vía intramuscular 0, 5, 10 y 15 gramos de L-carnitina en solución cada 5 días desde el día 20 preparto hasta el día 15 posparto sobre el consumo de materia seca (CMS), balance de energía (BE), producción (PL) y contenido de en grasa (GrL) y proteína (PrtL) en la leche. Usando la técnica de indicadores se estimó el CMS, los días 5, 10, 15 y 20 de lactancia se midieron PL, GrL y PrtL., al día 270 de gestación, a los días 10 y 20 posparto se calculó el BE de cada vaca.

**Resultados:** los resultados de estas mediciones se analizaron en un diseño de parcelas divididas en el tiempo.

**Conclusiones:** los tratamientos no afectaron CMS, PL, PrtL, GrL y el BE ( $p>0.05$ ); bajo las condiciones experimentales descritas en este trabajo, la L-carnitina parenteral no tiene efecto sobre la producción, composición de la leche y el BE.

**Palabras clave:** balance de energía, composición de la leche, consumo materia seca, producción de leche, transición.

## Resumo

**Introdução:** a carnitina é chave no metabolismo dos lípidios por isto sua deficiência pode desencadear problemas metabólicos e produtivos no periparto, por isto, o objetivo deste estudo é avaliar a aplicação parenteral de diversas doses de L-Carnitina em vacas de raça durante o periparto.

**Metodologia:** cada tratamento foi conformado por seis vacas entre o segundo e sexto parto em vacas Holstein de alta produtividade, alimentadas com pastagem kikuyo (*Cenchrus clandestinus* [Hochst. ex Chiov.] Morrone) e um suplemento alimentício. A aplicação foi via intra muscular 0, 5, 10 e 15 gramos de L-Carnitina solução no intervalo de 5 dias desde o dia 20 pre parto até o dia 15 pós-parto, sobre o consumo de matéria seca CMS, balanço de energia BE, produção PL e contendo gordura GrL e proteína PrtL no leite usando a técnica de indicadores se estimo CMS, aos dias 5, 10, 15 e 20 de lactância medindo PL, GrL y PrtL, no dia 270 da gestação; aos dias 10 e 20 pós-parto se calculo o BE de cada vaca.

**Resultados:** os resultados destas avaliações se analisaram com um desenho de parcelas dividias no tempo.

**Conclusões:** os tratamentos no afetaram CMS, PL, PrtL, GrL e o BE ( $p>0.05$ ); baixo condições experimentais descritas neste trabalho, a L-Cartitina não tem efeito sobre a produção e composição do leite e o BE.

**Palavras-chave:** Consumo de matéria seca, balanço energético, composição do leite, produção de leite, transição

## Abstract

**Introduction:** Carnitine is key in the proper metabolism of lipids, so its deficiency can trigger metabolic and productive problems during peripartum, for this reason, the objective of this study is evaluated the parenteral application of various doses of L-carnitine to cows during the peripartum;

**Methodology:** Each treatment consisted of six Holstein cows between second and sixth birth to Holstein cows of high production, grazing kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus* [Hochst. ex Chiov.] Morrone) and supplemented with a concentrate food 0, 5, 10 and 15 grams of L-carnitine in solution were applied via intramuscular every 5 days from day 270 of gestation to day 15 postpartum on dry matter intake (DMI), energy balance (EB), milk

yield (MY) and milk content of fat (MF) and protein (MP). The DMI was estimated using the indicator technique. MY, MF and MP were measured on days 5, 10, 15 and 20 of lactation. On day 270 of gestation and on days 10 and 20 postpartum the EB of each cow was calculated.

**Results:** The results of these measurements are analyzed in a time-divided plot design.

**Conclusions:** The treatments do not affect DMI, MY, MP, MF and EB ( $p > 0.05$ ), under the experimental conditions described in this work, parenteral L-carnitine has no effect on milk production, composition and EB

**Keywords:** Dry matter intake, energy balance, milk composition, milk production, transition.

## Introducción

Las vacas de alta producción de leche tienen mayor riesgo de enfrentarse a diversos problemas sanitarios durante el periodo de transición a la lactancia [1]. Los cambios hormonales asociados a un menor consumo de materia seca desencadenan modificaciones y adaptaciones metabólicas que producen, entre otros efectos, la movilización de los ácidos grasos (AG) de las reservas corporales, que pueden desencadenar en cetosis y esteatosis hepática [2]. Esto sucede cuando las cantidades de ácidos grasos que llegan al hígado superan la capacidad de este órgano de metabolizarlos vía  $\beta$ -oxidación. El transporte de los ácidos grasos desde el citosol hasta la mitocondria del hepatocito para que ocurra la  $\beta$ -oxidación es un paso crítico en el metabolismo hepático de los ácidos grasos. Este transporte se encuentra mediado por la L-carnitina, un compuesto nitrogenado que se sintetiza a partir de lisina y metionina [3]. La L-carnitina forma un complejo acilcarnitina mediada por una familia de enzimas denominadas carnitina aciltransferasas, que en el caso de los mamíferos está constituida por tres enzimas dependiendo de la longitud de la cadena del ácido graso [4]; para los ácidos grasos de cadena corta existe una enzima carnitina acetiltransferasa (CrAT), para los de cadena intermedia existe una enzima carnitina octanoiltransferasa (CrOT) y para los de cadena larga, se cuenta con la carnitina palmitoiltransferasa (CPTs) [4], [5].

Las funciones biológicas de la L-carnitina en el metabolismo de los lípidos van más allá de la función catalítica en la combustión mitocondrial de los ácidos grasos, ya que también presenta funciones de amortiguador para excesos de grupo acilo [5]. En este caso, la L-carnitina es convertida a L-carnitina-éster y consume grandes cantidades de L-carnitina. La L-carnitina ( $\beta$ -hidroxi- $\gamma$ -trimetilamoniobutirato) se sintetiza a partir de los aminoácidos esenciales L-lisina y L-metionina, y se encuentra distribuida en todos los tejidos de los mamíferos particularmente en el tejido muscular [6]. La cadena de cuatro carbonos de la L-carnitina es proporcionada por tres átomos de carbono proveniente de la lisina, mientras que el grupo amino proviene del grupo

épsilon amino de la lisina. Los grupos metilo de L-carnitina se derivan a partir de L-metionina a través de S-adenosil-metionina [7].

Se ha reportado que en los rumiantes en períodos de balance energético negativo, la suplementación con L-carnitina estimula la oxidación hepática de los ácidos grasos, encontrándose que aumentos en la concentración hepática de L-carnitina disminuyen la acumulación de triglicéridos en el periodo de transición [8], [9], [10]. Carlson et al., en experimentos donde se suministró L-carnitina en el alimento concentrado y en infusión abomasal [8], [9], [11], afirman que el uso de L-carnitina como suplemento alimenticio podría disminuir la acumulación de lípidos en el hígado como consecuencia de una mayor capacidad de oxidación de los AG hepáticos, se estimula la producción hepática de glucosa y se disminuye el riesgo de desarrollar trastornos metabólicos en vacas alrededor del parto y durante la lactancia temprana. Es así como Carlson et al. [8] adelantaron un experimento con vacas periparturientas sometidas a restricción alimenticia a las que suministraron 20 g/día de L-carnitina por infusión abomasal y reportaron que el suministro de este compuesto aumentó la concentración total de L-carnitina hepática al tiempo que disminuyó la concentración de triglicéridos en este órgano. Por otro lado, se ha reportado que dietas bajas en L-carnitina (6 g de L-carnitina que escapa a la degradación ruminal por día), no afectan la concentración de esta en el hígado ni el contenido de triglicéridos hepáticos [9], [12]. Esto puede ser debido a que la degradación ruminal de la L-carnitina puede ser cercana al 95 % a las 18 h de incubación variando con el tipo de dieta [12]. Este valor es ligeramente más alto que el estimado por Galvis [13] que fue cercano al 90 %. Debido a esto, se considera que la aplicación parenteral podría constituirse en una alternativa más efectiva y que generaría menos incertidumbre al momento de ser aplicada que la suplementación oral.

Existen diferentes estudios en humanos, sobre todo en niños recién nacidos, en los que se suministra L-carnitina parenteral con el fin de mejorar los problemas metabólicos de oxidación de ácidos grasos. En humanos prematuros que reciben suplementación lipídica vía parenteral también se les suministra L-carnitina, ya que sus niveles son bajos con el fin de mejorar el metabolismo de los lípidos [14], [15], [16]. En rumiantes, y especial para vacas en estados de balance energético negativo, los trabajos publicados a la fecha de elaboración de este informe son escasos. En un trabajo realizado en cabras gestantes se concluyó que la administración parenteral de L-carnitina podría ser una medida de protección contra la toxemia del embarazo (cetosis), a través de la creciente concentración de la glucosa en suero en cabras con embarazo gemelar [17]. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación parenteral de L-carnitina a vacas periparturientas y su efecto sobre el

consumo de materia seca, la producción y calidad de la leche y el balance energético de los animales.

## Materiales y métodos

Este trabajo fue avalado por el comité de ética de investigación de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín en la comunicación CEMED-200. La fase experimental se realizó en la Estación Agraria Paysandú de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, ubicado en el corregimiento Santa Elena, a 2.400 m.s.n.m. con temperatura promedio de 14 °C y humedad relativa promedio del 80 %, características que corresponden a la formación bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB), según la clasificación de Holdridge [18], con una precipitación promedio de 2.500 mm/año.

Se emplearon 24 vacas de la raza Holstein, seleccionadas según los registros productivos y reproductivos, entre dos y seis partos, que se encontraban entre el día 20 antes de la fecha prevista del parto (260 días de gestación) y el día 20 posparto, cuyo peso vivo al inicio del periodo experimental (día 260 de gestación) fue de 633,1 ± 72,0 kg. Las vacas pastoreaban praderas de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hochst. ex Chiov.) Morrone), sometido a manejo y fertilización tradicional del que se tomaron cinco muestras de las praderas utilizadas para las vacas durante el parto y otras cinco de las praderas utilizadas para las vacas en el posparto. En estas que se analizó el contenido de proteína cruda (PC) por el método Kjeldahl (NTC-4657) [19], fibra en detergente neutro (FDN) por el método AOAC 2002.04, fibra en detergente ácido (FDA) por el método AOAC 973.18 y lignina en detergente ácido (LAD) [20], por los procedimientos descritos por Van Soest y Robertson [21]. Así mismo, se determinó el contenido de grasa bruta (GB) por el método de extracción Soxhlet (basado en NTC 668) [22] y el de cenizas (Cen) por el método de incineración directa (AOAC 942.05) a 600 °C por dos horas [20]. Por diferencia, se estimó el contenido de carbohidratos no estructurales (CNE) [23], [24]. En los residuos de la FDN y FDA se determinó el contenido de proteína para obtener la proteína cruda insoluble en detergente neutro (PCIDN) y la proteína cruda insoluble en detergente ácido (PCIDA). Las vacas recibieron, así mismo, 2,0 kg/vaca/d de un alimento comercial durante el parto y 1,0 kg de alimento/4 litros de leche/vaca/d luego del parto. Ambos alimentos estaban elaborados a base de maíz y torta de soya. En una muestra de cada uno de estos suplementos también se analizó el contenido de PC, PCIDN, PCIDA, FDN, FDA, GB, Cen, LDA y CNE. El contenido de la energía neta de lactancia (ENL) en las muestras de pasto y de los alimentos concentrados se estimó de acuerdo a la propuesta del NRC [23]. Todos los

análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

Los animales recibieron la aplicación intramuscular de una solución de L-carnitina (Levocarnitina®) cuya concentración luego de la dilución con solución salina fue de 1 g/25 ml) cada cinco días desde el día 260 de gestación y hasta el día 15 postparto según el tratamiento, en varios puntos de la musculatura del anca, la porción superior del muslo (músculo semitendinoso y semimembranoso) teniendo en cuenta no aplicar más de 50 ml por lugar de aplicación; en el caso de las dosis más altas se inyectó lentamente en varios puntos verificando que no se presentaran edemas u otro tipo de alteración. Las 24 vacas se asignaron aleatoriamente a uno de cuatro tratamientos experimentales en la medida en que se iban presentando los partos, así:

- Control (T0): no recibieron aplicación intramuscular de L-carnitina.
- Experimental T1: recibieron una dosis de 125 ml de solución de L-carnitina equivalente a 5 gramos.
- Experimental T2: recibieron una dosis de 250 ml de solución de L-carnitina equivalente a 10 gramos.
- Experimental T3: recibieron una dosis de 375 ml de solución de L-carnitina equivalente a 15 gramos.

El consumo de pasto se estimó el día 10 antes de la fecha prevista del parto, y al día 10 y 20 posparto, utilizando la técnica del doble marcador descrita por Jaimes et al. [25] y Correa et al. [26], con óxido de cromo para estimar la producción de heces y materia seca indigerible (MSi) como marcador interno para la estimación de la digestibilidad de la materia seca. Para ello, se ofreció el óxido de cromo desde el día 25 antes de la fecha prevista del parto a razón de 20 gramos/vaca/d mezclados con alimento concentrado y melaza peletizados. Durante los tres días previos a los momentos en que se estimó el consumo del pasto, se tomaron muestras de heces de cada vaca vía rectal en el ordeño de la mañana y de la tarde (aproximadamente 20 g/muestra) que fueron mezcladas para obtener una muestra final de aproximadamente 120 g/heces/vaca/muestreo. Para la determinación de la MSi en las muestras de heces y de alimentos, se utilizaron cuatro vacas canuladas pastoreando pasto kikuyo en la Estación Agraria Paysandú de la Universidad Nacional en las cuales las muestras fueron incubadas en rumen durante 144 h. El consumo del suplemento alimenticio fue calculado por la diferencia entre lo ofrecido y lo rechazado.

Igualmente, durante los tres días previos a los momentos en que se estimó el consumo del pasto durante el posparto, se tomaron muestras de leche de cada vaca

en el ordeño de la mañana y de la tarde, las cuales fueron inmediatamente refrigeradas y llevadas al Laboratorio de Análisis Químico y Bromatológico de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, donde se determinó el contenido de proteína por el método Kjeldahl NTC 4657 [19] y al Laboratorio de Leches de la misma institución donde se determinó el contenido de grasa por el método Babcock [20] AOAC International.

El balance energético (BE) se estimó teniendo en cuenta las variables peso corporal, producción y composición de la leche de cada una de las vacas empleadas para el estudio. Este se estimó por la diferencia entre el requerimiento de ENI según el NRC [23] y el consumo total de energía al día 270 de gestación, 10 y 20 posparto. El consumo total de las fracciones para calcular ENI se estimó por la sumatoria entre el consumo estimado del forraje con el consumo del suplemento alimenticio utilizando las ecuaciones propuestas por el NRC [24]. Para los cálculos se empleó Microsoft Excel del paquete Microsoft Office 365 ProPlus.

Para el análisis de los datos se empleó el PROC MIXED del paquete estadístico SAS [27]. El criterio de información de Akaike [28] se utilizó para modelar la estructura de covarianzas teniendo en cuenta el número del parto, la producción de leche corregida a 305 días en la lactancia anterior, la condición corporal y el peso al inicio de la lactancia como covariables. La comparación de medias entre los tratamientos se realizó mediante la prueba de mínimos cuadrados LSM.

El modelo estadístico utilizado incluyó los efectos fijos de tratamiento, período de medición y la interacción entre el tratamiento y el período de medición [29], así:

$$Y_{hijk} = \mu + T_h + D_i + T*D + V(T)_j + \beta + E_{(hijk)},$$

donde  $Y_{hijk}$  = variable de respuesta;  $\mu$  = media general;  $T_h$  = efecto del h-ésimo tratamiento;  $D_i$  es el efecto de i-ésimo día;  $T*D$  = efecto de la interacción entre el tratamiento y el día de la medición;  $V(T)_j$  = efecto de la j-ésima vaca anidada en el tratamiento;  $\beta$  = efecto de la covariable; y  $E_{(hijk)}$  es el error experimental asociado a la k-ésima unidad experimental.

La rutina utilizada en SAS fue la siguiente:

```
PROC MIXED DATA=UNI;
CLASS TRT PEN DAY;
MODEL EXC=TRT DAY TRT*DAY C;
```

RANDOM PEN(TRT);  
 REPEATED DAY/SUB=PEN(TRT) TYPE=AR(1);  
 RUN;

## Resultados

En la tabla 1 se presenta la información de la composición química de las praderas utilizadas en este experimento donde se observa que los contenidos de PC y de FDN son más altos que lo recomendados por el NRC [23] para vacas lactantes mientras que el de CNE es más bajo. Así, mientras que el requerimiento de PC para vacas Holstein produciendo 25 L de leche con el contenido de grasa y proteína que se presenta en la tabla 1 es de 15,4 %, este requerimiento es de 15,7 % para vacas produciendo 35 L con el contenido de grasa y proteína de la tabla 1. Por su parte, la recomendación de FDN y CNE que hace el NRC para este tipo de vacas es de 25 % y 44 % máximo, respectivamente. Estos datos, sin embargo, son similares a los reportados en Antioquia para esta gramínea [29].

**Tabla 1.** Composición química de las praderas de pasto Kikuyo (*Cenchrus clandestinus Hochst*) (valores expresados en porcentaje) utilizadas en el parto y posparto

|          | PC <sup>1</sup> | PCIDN | PCIDA | FDN  | FDA  | GB   | Cen  | LDA  | CNE        | ENI  |
|----------|-----------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------------|------|
|          | % de la MS      |       |       |      |      |      |      |      | Mcal/kg MS |      |
| Parto    | 22,6            | 3,78  | 1,10  | 56,6 | 28,0 | 2,50 | 10,6 | 3,78 | 15,4       | 1,49 |
| Posparto | 22,4            | 7,14  | 1,18  | 57,8 | 29,0 | 2,62 | 10,4 | 4,14 | 13,9       | 1,47 |

<sup>1</sup> PC= proteína cruda; PCIDN= proteína insoluble en detergente neutro; PCIDA= proteína insoluble en detergente ácido; FDN= fibra en detergente neutro; FDA= fibra en detergente ácido; GB= grasa bruta; Cen= cenizas; LDA= lignina en detergente ácido; CNE= carbohidratos no estructurales (CNE= 100-(PC+EE+FDN+Cen) + PCIDN).

**Fuente:** elaboración propia.

En cuanto a la composición química de los suplementos alimenticios utilizados durante los periodos parto y posparto (tabla 2), se puede observar que los contenidos de PC, CNE y ENI fueron más bajo en el alimento parto, mientras que el de FDN y LDA fueron más altos en este suplemento.



**Tabla 2.** Composición química de los suplementos utilizados en la etapa preparto y posparto durante el experimento (valores expresados en porcentaje)

|          | PC <sup>1</sup> | PCIDN | PCIDA | FDN  | GB   | Cen  | LDA  | CNE  | ENI        |
|----------|-----------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------------|
|          | % de la MS      |       |       |      |      |      |      |      | Mcal/kg MS |
| Preparto | 12,4            | 5,10  | 2,60  | 44,3 | 5,6  | 12,2 | 7,00 | 30,6 | 1,49       |
| Posparto | 16,1            | 2,00  | 1,70  | 25,0 | 5,42 | 5,35 | 3,50 | 50,1 | 2,00       |

<sup>1</sup> PC= proteína cruda; PCIDN= proteína insoluble en detergente neutro; PCIDA= proteína insoluble en detergente ácido; GB= grasa bruta; FDN= fibra en detergente neutro; FDA= fibra en detergente ácido; Cen= cenizas; Lig= lignina; CNE= carbohidratos no estructurales (CNE= 100-(PC+EE+FDN+Cen) + PCIDN).

**Fuente:** elaboración propia.

En las tablas 3 y 4 se registran los valores de las medias para el CMS del forraje, del suplemento y el total de acuerdo con los días de evaluación y con el efecto de los tratamientos, respectivamente. El análisis estadístico indicó que no hubo efecto de la interacción entre el tratamiento y el día de evaluación sobre el CMS del pasto, del suplemento y el total ( $p > 0,251$ ;  $p > 0,259$   $p > 0,426$ , respectivamente) (tabla 3), como tampoco hubo efecto de los tratamientos sobre el CMS del forraje ( $p > 0,984$ ), del suplemento alimenticio ( $p > 0,232$ ) y el total ( $p > 0,874$ ) (tabla 4).

**Tabla 3.** Valores de las medias del consumo de materia seca de acuerdo con los días de medición

| Consumo de la materia seca (kg/día) | Día en relación al parto |       |       | EEM <sup>1</sup> | p      |
|-------------------------------------|--------------------------|-------|-------|------------------|--------|
|                                     | -10                      | 10    | 20    |                  |        |
| Del forraje <sup>2</sup>            | 8,74a                    | 12,6b | 12,8b | 0,367            | <0,001 |
| Del suplemento                      | 1,78a                    | 6,82b | 7,72c | 0,151            | <0,001 |
| <b>Total</b>                        | 10,5a                    | 19,4b | 20,5b | 0,404            | <0,001 |

<sup>1</sup> EEM: error estándar de la media; p: nivel de probabilidad de cometer el error tipo I.

<sup>2</sup> Valores promedio con letra diferente en la misma línea, son estadísticamente diferentes.

**Fuente:** elaboración propia.

Como era de esperarse, se presentó diferencia en el CMS en función de los días al parto ( $p < 0,0001$ ) (tabla 3). Los resultados indican que el CMS del forraje y del suplemento fueron menores cuando se midieron el día 10 antes de la fecha prevista del parto, lo que se explica por los requerimientos nutricionales, los cambios fisiológicos, metabólicos, de comportamiento y de oferta de alimento que experimenta la vaca al final de la gestación. Después del parto no hubo diferencia en el valor promedio del

CMS del forraje y del total, pero sí existe para la materia seca consumida procedente del suplemento alimenticio, lo cual se explica porque la oferta de este a nivel del hato depende del nivel de producción de leche.

**Tabla 4.** Valores de las medias del consumo de la materia seca para cada tratamiento.

| Consumo de la materia seca (kg/día) | Tratamiento |      |      |      | EEM <sup>1</sup> | p     |
|-------------------------------------|-------------|------|------|------|------------------|-------|
|                                     | T0          | T1   | T2   | T3   |                  |       |
| Del forraje                         | 11,2        | 11,4 | 11,5 | 11,4 | 0,578            | 0,984 |
| Del suplemento                      | 5,63        | 5,25 | 5,76 | 5,13 | 0,235            | 0,232 |
| <b>Total</b>                        | 16,8        | 16,7 | 17,3 | 16,6 | 0,621            | 0,874 |

<sup>1</sup> EEM: error estándar de la media; p: nivel de probabilidad de cometer el error tipo I.

**Fuente:** elaboración propia.

Los valores promedio para la producción y la composición de la leche, de acuerdo con los días en lactancia y con el efecto de los tratamientos, se registran en las tablas 5 y 6. Los resultados de la tabla 5 muestran que la producción de leche aumentó entre los 5 y los 10 días de lactancia, no presentó diferencia entre los 10 y los 15 días y aumentó de manera significativa entre el día 15 y 20 de lactancia. Con relación al contenido de proteína, se observa su disminución significativa hasta el día 15, no siendo diferente entre este y el 20 de lactancia. El contenido de grasa de la leche, por su parte, también disminuyó con los días en lactancia, siendo mayor a los 5 días que a los 15 y 20 días, pero no fue diferente entre los días 5 y 10.

**Tabla 5.** Valores promedio de la producción y el contenido de proteína y grasa en la leche en función de los días en lactancia

| Variable                             | Día en relación al parto |        |        |        | EEM <sup>1</sup> | p      |
|--------------------------------------|--------------------------|--------|--------|--------|------------------|--------|
|                                      | 5                        | 10     | 15     | 20     |                  |        |
| Producción de Leche (L) <sup>2</sup> | 25,00a                   | 30,70b | 31,30b | 34,70c | 0,919            | <0,001 |
| Proteína en la leche (%)             | 3,46 <sup>a</sup>        | 3,17b  | 2,91c  | 2,83c  | 0,066            | <0,001 |
| Grasa en la leche (%)                | 3,64 <sup>a</sup>        | 3,33ab | 2,92b  | 2,88b  | 0,137            | <0,001 |

<sup>1</sup> EEM: error estándar de la media; p: nivel de probabilidad de cometer el error tipo I

<sup>2</sup> Valores promedio con letra diferente en la misma línea, son estadísticamente diferentes.

**Fuente:** elaboración propia.

La producción de leche no presentó diferencia en función de los tratamientos ( $p=0,269$ ) (tabla 6), ni por la interacción entre el tratamiento y el día de evaluación ( $p=0,466$ ). Los tratamientos no influyeron en el contenido de proteína y grasa ( $p>0,22$ ), ni hubo efecto de la interacción entre estos y el día de lactancia ( $p=0,382$  y  $p=0,163$ ).

**Tabla 6.** Valores promedio de la producción y el contenido de proteína y grasa en la leche en función de los tratamientos

| Variable                 | Tratamiento |      |      |      | EEM <sup>1</sup> | p     |
|--------------------------|-------------|------|------|------|------------------|-------|
|                          | T0          | T1   | T2   | T3   |                  |       |
| Producción de Leche (L)  | 31,3        | 28,9 | 32,7 | 28,7 | 1,595            | 0,269 |
| Proteína en la leche (%) | 3,14        | 3,13 | 3,05 | 3,07 | 0,943            | 0,867 |
| Grasa en la leche (%)    | 2,99        | 3,48 | 3,27 | 3,03 | 0,184            | 0,222 |

<sup>1</sup> EEM: error estándar de la media; p: nivel de probabilidad de cometer el error tipo I.

**Fuente:** elaboración propia.

En las tablas 7 y 8 se presentan los valores promedios de las variables relacionadas con el BE en función del efecto del día de la evaluación y del tratamiento, respectivamente. En la tabla 7 se puede establecer que los valores promedio estimados de las variables analizadas fueron menores 10 días antes del parto que después de este. Luego del parto no hubo diferencia en dichos valores entre el día 10 y el 20. No obstante, que entre el día 10 y el 20 de lactancia hubo diferencia en la producción y composición de la leche (tabla 5), estas se compensaron entre sí, de tal manera que no provocaron diferencias en los requerimientos de energía para el mantenimiento, la producción de leche y total.

**Tabla 7.** Valores de las medias de las variables asociadas con el balance de energía de acuerdo con el día de evaluación

| Variable          | Día en relación al parto |        |        | EEM <sup>1</sup> | p      |
|-------------------|--------------------------|--------|--------|------------------|--------|
|                   | -10                      | 10     | 20     |                  |        |
| RM <sup>2,3</sup> | 9,22a                    | 9,51b  | 9,44b  | 0,182            | <0,001 |
| RG                | 3,76                     | -      | -      | -                | -      |
| RPd               | -                        | 18,40  | 20,20  | 59,0             | 0,5010 |
| RETotal           | 12,90a                   | 27,90b | 29,70b | 1,370            | <0,001 |
| ApESup            | 2,46a                    | 13,6b  | 15,3b  | 0,300            | <0,001 |
| ApEFor            | 13,10a                   | 18,50b | 18,90b | 0,543            | <0,001 |

(continúa)

(viene)

| Variable  | Día en relación al parto |       |       | EEM <sup>1</sup> | p      |
|-----------|--------------------------|-------|-------|------------------|--------|
|           | -10                      | 10    | 20    |                  |        |
| ApEnTotal | 15,6                     | 32,1  | 34,2  | 0,641            | <0,001 |
| BENI      | 2,57                     | -3,45 | -4,52 | 1,310            | <0,001 |

<sup>1</sup> EEM: error estándar de la media; p: nivel de probabilidad de cometer el error tipo I.

<sup>2</sup> Valores promedio con letra diferente en la misma línea, son estadísticamente diferentes.

<sup>3</sup> RM (requerimiento de energía para mantenimiento). RG (requerimiento de energía para gestación). RPD (requerimiento de energía para producción). RETotal (requerimiento de energía total). ApESup (aporte de energía del suplemento). ApEFor (aporte de energía del forraje). ApEnTotal (aporte de energía total de la dieta), BENI (balance energía neta de lactancia).

**Fuente:** elaboración propia.

Como se puede observar, el tratamiento no tuvo efecto sobre las variables asociadas con el BE de las vacas (tabla 8), como tampoco hubo efecto de la interacción entre el tratamiento y el día de la estimación de dichas variables ( $p > 0,05$ ).

**Tabla 8. Valores de las medias de las variables asociadas con el balance de energía por tratamiento**

| Variable        | Tratamiento |      |       |       | EEM <sup>1</sup> | P     |
|-----------------|-------------|------|-------|-------|------------------|-------|
|                 | T0          | T1   | T2    | T3    |                  |       |
| RM <sup>2</sup> | 9,59        | 9,16 | 9,51  | 9,32  | 0,182            | 0,824 |
| RPd             | 14,2        | 16,2 | 14,7  | 11,4  | 0,514            | 0,183 |
| RETotal         | 23,8        | 25,4 | 24,3  | 20,7  | 1,737            | 0,296 |
| ApESup          | 10,8        | 10,2 | 11,1  | 9,79  | 0,464            | 0,234 |
| ApEFor          | 16,6        | 16,9 | 17,0  | 16,9  | 0,970            | 0,792 |
| ApEnTotal       | 27,4        | 27,0 | 28,1  | 26,7  | 0,972            | 0,790 |
| BENI            | -1,57       | 0,54 | -2,02 | -4,19 | 1,36             | 0,144 |

<sup>1</sup> EEM: error estándar de la media; p: nivel de probabilidad de cometer el error tipo I.

<sup>2</sup> RM (requerimiento de energía para mantenimiento). RPD (requerimiento de energía para producción). RETotal (requerimiento de energía total). ApESup (aporte de energía del suplemento). ApEFor (aporte de energía del forraje). ApEnTotal (aporte de energía total de la dieta). BENI (balance energía neta de lactancia).

**Fuente:** elaboración propia.

## Discusión

Existen productos de solución inyectable de L-carnitina para uso en humanos y en diferentes especies animales. A la fecha, no hay un cuerpo consistente de estudios sobre el uso de estos productos en vacas lactantes en el periodo de transición,

desconociéndose su efecto real sobre el consumo de materia seca, balance de energía y producción y composición de la leche. En una revisión realizada por Ringseis et al. [30], se puede deducir que los estudios realizados con vacas lactantes muestran que la suplementación con L-carnitina es ineficaz para mejorar la producción y la composición de la leche. Esto parece ser confirmado por el presente estudio en el que las variables evaluadas no fueron afectadas por el suministro de L-carnitina vía parenteral.

A pesar de que no hay suficiente evidencia científica disponible de su eficacia, la inconsistencia en los resultados de las respuestas metabólicas [31], [32] han llevado a que algunos autores afirmen que se necesita más investigación para determinar sus efectos reales en situaciones clínicas específicas [33], [34], [35], [36]. Desde hace años se viene empleando la L-carnitina sin prescripción como suplemento alimenticio en humanos [36], para coadyuvar en diferentes situaciones de salud tales como las provocadas por los problemas de metabolismo de las grasas en niños prematuros [38], [39], en pacientes con diabetes al modular favorablemente el estrés oxidativo [40], así mismo, en pacientes con problemas renales y cardíacos [41], [42] y para el tratamiento de trastornos hereditarios relacionados con anomalías funcionales en un transportador específico catión orgánico/carnitina (OCTN2). También en humanos se ha evaluado este compuesto para suplir sus deficiencias inducidas por fármacos y en casos de excreción excesiva de L-carnitina a causa de trastornos renales y en pacientes en hemodiálisis [43], [44], así como con el fin de contribuir con la disminución del peso por su papel en el metabolismo de las grasas; sin embargo, no existen estudios que muestren valores estadísticamente significativos para respaldar su eficacia. En un estudio realizado con mujeres obesas, se concluyó que la suplementación con L-carnitina durante ocho semanas, acompañada de ejercicio moderado, no alteró significativamente el gasto de grasa poniendo en duda su eficacia en la pérdida de peso [45], [46].

En general, el metabolismo de los lípidos no parece estar influenciado por el tratamiento con L-carnitina; incluso se debe considerar la posibilidad de que los efectos beneficiosos de la L-carnitina solo se manifiesten en un sitio limitado, de modo que las variables bioquímicas investigadas —cuando se evalúan a partir de muestras de sangre— no experimentan cambios medibles [47]. En condiciones normales, los riñones reabsorben L-carnitina completamente libre perdiéndose en la orina en forma de éster de carnitina y acilcarnitina [32]. La homeostasis de la L-carnitina se mantiene mediante la absorción y una baja tasa de síntesis. Su biodisponibilidad depende de la cantidad en la dieta. Únicamente del 5 % al 18 % de la dosis de L-carnitina suministrada vía oral es biodisponible porque la mayor parte es degradada por los

microorganismos [48], [49]. En un estudio publicado en 1995, LaCount et al. demostraron que la administración de L-carnitina vía ruminal y abomasal aumentó su excreción en leche y orina en forma de L-carnitina libre y acilcarnitina [12]. Cuando la administración de la L-carnitina es venosa, la farmacocinética se caracteriza por su rápida eliminación por los riñones y el rápido retorno a sus niveles basales [50], [49].

Wessels et al. [51], por su parte, en un estudio realizado con ratas alimentadas con un suplemento rico en grasas, encontraron que la suplementación con L-carnitina no indujo mejoras en el estado de los lípidos y muscular, como tampoco hubo aumento en la capacidad oxidativa muscular.

A diferencia de los estudios realizados con L-carnitina en rumiantes, en los que no se han identificado resultados concluyentes que justifiquen su uso, en cerdos se han obtenidos resultados interesantes. Musser et al. [52] encontraron que la L-carnitina administrada vía oral durante la gestación en cerdas adultas aumentó el peso corporal de estas, la profundidad de la costilla y el peso de la camada al nacimiento y al destete. Ramanau et al. investigaron el efecto de la suplementación con 125 y 250 mg/día de L-carnitina en cerdas gestantes y lactantes sobre la producción y composición de la leche y en los lechones. Las cerdas suplementadas con L-carnitina tuvieron mayor producción de leche que el grupo control (sin L-carnitina), mientras que la proteína, lactosa y la cantidad de energía secretada en la leche fueron mayores en las cerdas con L-carnitina en virtud de lo cual los lechones de las cerdas suplementadas con este producto crecieron más rápido durante la lactancia [53].

Los resultados obtenidos en este experimento concuerdan con los hallados en otros trabajos. Es así como Lacount et al. [12] encontraron que la producción y la composición de la leche y el consumo de la materia seca no se vieron afectados por la suplementación con L-carnitina. En otro estudio posterior, LaCount et al. determinaron la degradabilidad de la L-carnitina en el líquido ruminal empleando vacas canuladas y el efecto de cuatro niveles de este compuesto en la dieta (0,0875; 1,7; 3,5 y 7,0 g/día) sin identificar efecto sobre el consumo de la materia seca, la producción y la composición de la leche [12], [54]. Carlson et al. [8] emplearon 20 g/día de L-carnitina en infusión abomasal en vacas con restricción alimentaria y no encontraron efecto sobre el consumo de materia seca, la producción y composición de la leche, así como sobre el balance energético.

Ringseis et al., en una revisión sobre la eficacia de la suplementación con L-carnitina en la dieta de vacas lactantes, encontraron que los resultados son inconsistentes y sus efectos sobre el rendimiento en producción y composición de la leche no son los esperados [30]. Los resultados, de acuerdo con estos autores, dependen del animal, la síntesis endógena y la captación y excreción gastrointestinal de L-carnitina

dietaria. Tasdemir et al. [55], por su parte, evaluaron el efecto de la suplementación combinada de grasa con L-carnitina y niacina en la dieta de vacas en lactación media. Los resultados indicaron que la suplementación de L-carnitina disminuyó la producción de leche, pero no afectó la composición de la leche significativamente y no tuvo efecto sobre la distribución del nitrógeno en la leche.

En trabajos recientes con vacas Holstein, utilizando L-carnitina y sus precursores como la metionina incluidos en la dieta, no se reportaron efectos sobre el consumo de materia seca y la composición de la leche [13], [56], [57]. En su tesis de doctorado, Galvis [13] concluyó que la suplementación con L-carnitina no tiene beneficios que justifiquen su utilización en vacas en periodo de transición. Pirestani y Aghakhani [58] tampoco identificaron efecto de la utilización de colina y L-carnitina en la producción de leche, pero sí hubo aumento en la grasa en leche en comparación con un grupo control.

Pocos trabajos se han publicado en los que haya sido utilizada la L-carnitina vía parenteral. Erfle y Fisher [59], por ejemplo, evaluaron el efecto de la inyección intravenosa de lisina (15 g/día), lisina más metionina (15 g/día – 10 g/día) y L-carnitina (20 g/día) sobre el consumo de materia seca del forraje, producción y composición de la leche en vacas Holstein entre la semana 2 a la 10 postparto alimentadas con heno de pasto, leguminosas y alimento concentrado. Cada vaca recibió nueve inyecciones con intervalos de siete días. La comparación de los tratamientos con una solución salina, indicó que no hubo influencia de estas sobre los parámetros evaluados ( $p > 0,05$ ). Pancarci et al. [60], en un estudio con ovejas, emplearon L-carnitina inyectada vía subcutánea y solución salina durante ocho semanas antes del parto para medir su efecto sobre la concentración de AGNES, betahidroxibutirato (BHBA), triacilgliceridos y glucosa. Ellos encontraron que el contenido de AGNES aumentó hasta el parto y disminuyó drásticamente una semana después, tanto en el tratamiento con L-carnitina y el placebo (solución salina), siendo las concentraciones de AGNES más bajas con el tratamiento ( $p < 0,01$ ). El tratamiento con L-carnitina no tuvo efecto sobre las concentraciones de BHBA, triglicéridos y glucosa en suero durante el periodo de periparto. Concluyeron que la aplicación de L-carnitina durante el periparto tiene efecto en la disminución de AGNES sin ningún cambio en otros metabolitos de energía [60]. Sin embargo, debido a que son tan pocos los trabajos que evalúan esta vía parenteral, no es posible establecer las razones de las diferencias en los resultados.

Las vacas Holstein empleadas en la presente investigación llegaron con un buen peso al parto (tabla 9) y visualmente con grado de condición corporal con valores entre 3 y 3,2, considerados aceptables en una escala de 1 a 5 [61], por lo que se puede presumir que el periodo de transición de estos animales transcurrió sin dificultades.

**Tabla 9.** Peso promedio de las vacas por tratamiento y por día de evaluación

| DIA                    | Peso en kilogramos |        |       |       | EEM  | p    |
|------------------------|--------------------|--------|-------|-------|------|------|
|                        | T0                 | T1     | T2    | T3    |      |      |
| -20                    | 629                | 600    | 632   | 607   | 67,2 | 0,80 |
| -10                    | 630                | 612    | 643   | 615   | 71,9 | 0,92 |
| PARTO                  | 584                | 563    | 591   | 570   | 69,1 | 0,91 |
| 10                     | 586                | 567    | 591   | 569   | 67,1 | 0,83 |
| 20                     | 584                | 565    | 590   | 566   | 67,6 | 0,83 |
| $\Delta$ /día/posparto | 0,000              | -0,060 | 0,080 | 0,190 | 0,41 | 0,39 |

**Fuente:** elaboración propia.

En la escala del 1 a 5, las vacas extremadamente flacas se asignan al grado 1 y las extremadamente gordas a grado 5, siendo ideal el grado de 3 a 4. Al momento del parto las vacas que presentan un buen estado corporal pueden movilizar sus reservas sin que sufran problemas metabólicos y sin ver afectado su desempeño reproductivo [62]. Las vacas obesas disminuyen el consumo de alimento alrededor del parto, lo cual ocasiona un balance energético negativo más grave durante la lactancia temprana y conduce a un aumento de la lipólisis [63], lo que no ocurrió en este caso.

## Conclusiones

Bajo las condiciones experimentales en que se llevó a cabo este trabajo, el suministro de L-carnitina vía muscular a vacas lactantes durante el periodo de transición al parto no tuvo efectos sobre el CMS, el balance de energía, la producción de leche y el contenido de grasa y proteína en la leche. Dichos resultados concuerdan por los reportados por otros autores, lo cual sugiere que la suplementación no es justificable en este tipo de animales.

## Referencias

- [1] Atkinson O. Management of transition cows in dairy practice. In Pract. 2016;38(5):229-40. Doi: <https://doi.org/10.1136/inp.i1829>
- [2] Sundrum A. Metabolic disorders in the transition period indicate that the dairy cows' ability to adapt is overstressed. Anim an open access J from MDPI. 2015;5(4):978-1020. Doi: 10.3390/ani5040395



- [3] Longo N, Frigeni M, Pasquali M. Carnitine transport and fatty acid oxidation. *Biochim Biophys Acta*. 2016;1863(10):2422-35. Doi: 10.1016/j.bbamcr.2016.01.023
- [4] Jogl G, Hsiao Y-S, Tong L. Structure and Function of carnitine acyltransferases. *Ann N Y Acad Sci*. 2004;1033(1):17-29. Doi: <https://doi.org/10.1196/annals.1320.002>.
- [5] Harmeyer J. The physiological role of L-carnitine. *Lohman Inf*. 2002;27:15–21,
- [6] Gil A, Fontana L, Sánchez F. *Tratado de Nutrición. Tomo I. Bases Fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. (2.ª ed.)*. Madrid: Editorial Médica Panamericana. 2010.
- [7] Rebouche CJ. Ascorbic acid and carnitine biosynthesis. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1991; 54(6):1147S–1152S. Doi: <https://doi.org/10.1093/ajcn/54.6.1147s>
- [8] Carlson DB, Litherland NB, Dann HM, Woodworth JC, Drackley JK. Metabolic effects of abomasal L-carnitine infusion and feed restriction in lactating Holstein cows, *J. Dairy Sci*. 2006;89(12):4819-34. doi:10.3168/jds.S0022-0302(06)72531-0.
- [9] Carlson DB, McFadden JW, D'Angelo A, Woodworth JC, Drackley JK. Dietary L-carnitine affects periparturient nutrient metabolism and lactation in multiparous cows. *J. Dairy Sci*. 2007;90(7):3422–41. Doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-811>
- [10] Drackley JK, Beitz DC, Young JW. Regulation of in vitro palmitate oxidation in liver from dairy cows during early lactation. *J. Dairy Sci*. 1991;74(6):1884–1892. Doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78354-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78354-9)
- [11] Carlson DB, Woodworth JC, Drackley JK. Effect of L-carnitine infusion and feed restriction on carnitine status in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci*. 2007;90(5):2367-2376. Doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2006-605>
- [12] LaCount DW, Drackley JK, Weigel DJ. Responses of dairy cows during early lactation to ruminal or abomasal administration of L-Carnitine. *J. Dairy Sci.*, Aug. 1995;78(8):1824-36. Doi: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76807-2
- [13] Galvis RD. Efecto de la complementación con Metionina-Colina y L-Carnitina en vacas Holstein durante el periodo de transición sobre la acumulación hepática de triglicéridos. [Tesis doctoral] Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín; Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/60175>. 2016.

- [14] Clark MA, Stein REK, Silver EJ, Khalid S, Fuloria M, Esteban-Cruciani NV. Carnitine deficiency in preterm infants: A national survey of knowledge and practices. *Journal of neonatal-perinatal medicine*. 2017;10(4):381-6. Doi: 10.3233/NPM-16146
- [15] Clark RH, Chace DH, Spitzer AR. Impact of L-carnitine supplementation on metabolic profiles in premature infants. *J. Perinatol*. 2017;37:566-71. <https://doi.org/10.1038/jp.2016.253>
- [16] Sánchez P, Pérez A, Cocho JA, Fernández JR. Evaluation of carnitine deficit in very low birth weight preterm newborns small for their gestational age. *J Matern Neonatal Med.*, 2016;29(6):933-7. 10.3109/14767058.2015.1024647
- [17] Kaçar C, Zonturlu AK, Karapehlivan M, Ari UÇ, Öğün M, Çıtıl M. The effects of L-carnitine administration on energy metabolism in pregnant Halep (Damascus) goats. *Turkish Jurnal Vet Anim Sci*. 2010;34(2):163-71.
- [18] Espinal LS, Montenegro E. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia. Mem. Explic. sobre el mapa ecológico. Bogotá: IGAC, 1977.
- [19] ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Norma Técnica Colombiana NTC 4657. Alimento para animales. Determinación del contenido de nitrógeno y cálculo del contenido de proteína cruda. Método Kjeldahl. Bogotá, 1999.
- [20] AOAC International, GWJ Latimer. Official methods of analysis of AOAC International. AOAC International, 2016.
- [21] Van Soest PJ, Robertson JJ. Analysis of Forages and Fibrous Foods. AS 613 Manual. Ithaca, NY: Cornell University; 1985.
- [22] ICONTEC Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación Norma Técnica Colombiana NTC 668: Alimentos y materiales primas: determinacion de los contenidos de grasa y fibra cruda. Bogotá 1974.
- [23] National Research Council. Description nutrient requirements of dairy cattle. 7.<sup>a</sup> edición. Washington, DC: The National Academies Press; 2001. 405 p. Doi: <https://doi.org/10.17226/9825>.
- [24] Correa HJ. El modelo NRC 2001. [Internet]. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Nutrición Animal. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Disponible en: [http://www.ucv.ve/fileadmin/user\\_upload/facultad\\_agronomia/Modelo\\_NRC\\_2001.pdf](http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Modelo_NRC_2001.pdf)

- [25] Jaimes LJ, Cerón JM, Correa HJ. 2015. Efecto de la época del año y la etapa de lactancia sobre el consumo alimenticio de vacas Holstein pastoreando Kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en Colombia. *Livestock Research for Rural Development*. 27(12). [Internet]. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd27/12/jaim27244.html>
- [26] Correa HJ, Pabón ML, Carulla JE. Estimación del consumo de materia seca en vacas Holstein bajo pastoreo en el trópico alto de Antioquia. *Livest. Res. Rural Dev.* 2009;21(4):1-20.
- [27] SAS Institute Inc. 2004. *SAS/STAT® 9.1 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- [28] Akaike H. A new look at the statistical model identification. *Autom. Control. IEEE Trans.* 1974;19(6):716-23. Doi: 10.1109/TAC.1974.1100705
- [29] Correa HJ, Pabón ML, Carulla JE. Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Höchst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I-Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. *Livest Res Rural Dev.* 2008;20(4):59.
- [30] Ringseis R, Keller J, Eder K. Regulation of carnitine status in ruminants and efficacy of carnitine supplementation on performance and health aspects of ruminant livestock: a review. *Arch. Anim. Nutr.* 2018;72(1):1-30. Doi: 10.1080/1745039X.2017.1421340
- [31] Kudoh Y. Re-evaluation of l-carnitine in chronic hemodialysis. *J. Nephrol. Res.* 2015;1(2):49-60.
- [32] Lira C, Souto M, Bacardí M, Jiménez A. Revisión de la Efectividad de los Ingredientes de Productos Alternativos para la Pérdida de Peso. *Rev. Salud Pública.* 2009;10(5):818-30.
- [33] Coelho C de F, Mota JF, Bragança E, Burini RC. Aplicações clínicas da suplementação de L-carnitina. *Rev. Nutr.* 2005;18(5):651-9. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-5273200500500008>
- [34] Helton E, Darragh R, Francis P, Fricker FJ, Jue K, Koch G, Linn LS. Metabolic aspects of myocardial disease and a role for l-carnitine in the treatment of childhood cardiomyopathy. *Pediatrics.* 2000;105(6):1260-70.
- [35] Helton E, Darragh R, Francis P, Fricker FJ, Jue K, Koch G, Linn LS. Emergency management of inherited metabolic diseases. *J. Inherit. Metab. Dis.* 2002;25(7):531-46.
- [36] Steinman TI, Nissenson AR, Glasscock RJ, Dickmeyer J, Mattern WD, Parker TF, and Hull AR. L-carnitine use in dialysis patients: is national coverage for supplementation justified? What were CMS regulators thinking--or were they?. *Nephrology News Issues.* 2003;17(5):28-30, 32-4, 36 passim.

- [37] Zárate A, Saucedo R, Basurto L. Sustitutos no farmacéuticos que se usan para reducir el peso corporal. *Acta Med.* 2005;3(2):115-7.
- [38] Penn D, Schmidt-Sommerfeld E, Wolf H. Carnitine deficiency in premature infants receiving total parenteral nutrition. *Early Hum. Dev.* 1980;4(1):23-34. Doi: 10.1016/0378-3782(80)90005-5
- [39] Bonner CM, DeBrie KL, Hug G, Landrigan E, Taylor BJ. Effects of parenteral L-carnitine supplementation on fat metabolism and nutrition in premature neonates. *J. Pediatr.* 1995;126(2):287-92. Doi: 10.1016/s0022-3476(95)70562-7
- [40] Malaguarnera M, Cammalleri L, Motta M. L-Carnitine supplementation reduces oxidized LDL cholesterol in patients with diabetes. *Am. J. Clin. Nutr.* 2008;89(1):71-6. Doi: 10.3945/ajcn.2008.26251
- [41] Calvani M, Benatti P, Mancinelli A, D'iddio S, Giordano V, Koverech A, Brass EP. Carnitine Replacement in End-Stage Renal Disease and Hemodialysis. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2004;1033(1):52-66. Doi: 10.1196/annals.1320.005.
- [42] Fontana L, Sáez M, Santisteban R, Gil A. Compuestos nitrogenados de interés en nutrición clínica. *Nutr. Hosp.* 2006;21:15-29.
- [43] Angelini C, Federico A, Reichmann H, Lombes A, Chinnery P, Turnbull D. Task force guidelines handbook: EFNS guidelines on diagnosis and management of fatty acid mitochondrial disorders. *Eur. J. Neurol.* 2006;13(9):923-9. Doi: 10.1111/j.1468-1331.2006.01482.x.
- [44] Liepinsh E, Kalvinsh I, Dambrova M. The regulation of energy metabolism pathways through L-carnitine homeostasis. Role of the adipocyte in development of type 2 diabetes, *Intech-Open*, 2011;2:107-28. Doi: 10.5772/22478
- [45] Moreno IA. Mito en nutrición y suplementación deportiva. [Trabajo fin de máster] Universitat Oberta de Catalunya. 2016. Disponible en: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/56364/7/amorenoisTFM0716memoria.pdf>
- [46] Villani R, Gannon J, Self M, Rich P. L-Carnitine supplementation combined with aerobic training does not promote weight loss in moderately obese women. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 2000;10(2):199-207. Doi: 10.1123/ijsnem.10.2.199
- [47] Cerretelli P, Marconi C. L-carnitine supplementation in humans. The effects on physical performance. *Int. J. Sports Med.* 1990;11(01):1-14. Doi: 10.1055/s-2007-1024754

- [48] Brass EP. Supplemental carnitine and exercise. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000;72(2):618S-623S. Doi: 10.1093/ajcn/72.2.618S
- [49] Rebouche CJ. Kinetics, pharmacokinetics, and regulation of L-carnitine and Acetyl-L-carnitine metabolism. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2004;1033(1):30-41. Doi: 10.1196/annals.1320.003
- [50] Mancinelli A, Evans A, Nation R, Longo A. Uptake of L-Carnitine and Its Short-Chain Ester Propionyl-L-carnitine in the Isolated Perfused Rat Liver. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics.* 2005;315(1):118-24. Doi: <https://doi.org/10.1124/jpet.105.087890>
- [51] Wessels B, van den Broek N, Ciapaite J, Houten SM, Wanders RJA, Nicolay K, Prompers JJ. Carnitine supplementation in high-fat diet-fed rats does not ameliorate lipid-induced skeletal muscle mitochondrial dysfunction in vivo. *Am. J. Physiol. Metab.* 2015;309(7):E670-E678.
- [52] Musser RE, Goodband RD, Tokach MD, Owen KQ, Nelssen JL, Blum SA, Dritz SS, Civis CA. Effects of L-carnitine fed during gestation and lactation on sow and litter performance. *J. Anim. Sci.* 1999;77(12):3289-95. Doi: 10.2527/1999.77123289x
- [53] Ramanau A, Kluge H, Spilke J, Eder K. Supplementation of sows with L-Carnitine during pregnancy and lactation improves growth of the piglets during the suckling period through increased milk production. *The Journal of Nutrition.* 2004;134(1):86-92. Doi: <https://doi.org/10.1093/jn/134.1.86>
- [54] Lacount DW, Ruppert LD, Drackley JK. Ruminal degradation and dose response of dairy cows to dietary L-carnitine. *J. Dairy Sci.* 1996;79(2):260-9. Doi: 10.3168/jds.S0022-0302(96)76359-2
- [55] Tasdemir AR, Görgülü M, Serbester U, Yurtseven S. Influencia de la grasa dietética, L-carnitina y niacina en la producción y composición de la leche de vacas lecheras en lactación media. *Rev. Cuba. Cienc. Agrícola.* 2011;45(2):123-30.
- [56] Madrid LV, Correa HJ, Galvis RD. Effect of inclusion of L-carnitine fumarate on dry matter intake in Holstein cows during the period of transition to lactation. *CES Med. Vet. y Zootec.* 2015;10(2):193-202.
- [57] Montoya A, Correa H, Galvis R. Effect of choline and methionine protected on intake, Lipid Mobilization, Production and composition of milk. *Ces. Med. Vet. Zootec.* 2015;10(2):179-92.
- [58] Pirestani A, Aghakhani M. The effects of rumen-protected choline and l-carnitine supplementation in the transition period on reproduction, production, and some metabolic diseases of dairy cattle. *J. Appl. Anim. Res.* 2018;46(1):435-40.

- [59] Erfle JD, Fisher LJ. The effects of intravenous infusion of lysine, lysine plus methionine or carnitine on plasma amino acids and milk production of dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 1977;57(1):101-9. Doi: <https://doi.org/10.4141/cjas77-012>
- [60] Pancarci SM, Kaçar C, Öğün M, Güngör M, Gürbulak K, Oral H, Karapehlivan M, Cital M. Effect of L-Carnitine Administration on Energy Metabolism During Periparturient Period in Ewes. *Kafkas Univ Vet Fak Derg*, 2007;13:149-54. Doi: 10.9775/kvfd.2007.26-A
- [61] García JA. El método de la condición corporal en vacuno lechero: propuesta de una metodología unificadora. *Investig. Agrária Prod. y Sanid. Anim.* 1990;5:121-30.
- [62] Osorio JH, Suárez YJ, Pérez JE. Validación de la fórmula de friedewald para la determinación del perfil lipídico en bovinos. *Biosalud.* 2012;11:70-6.
- [63] Contreras PA. Síndrome de movilización grasa en vacas lecheras al inicio de la lactancia y sus efectos en salud y producción de los rebaños, *Arch. Med. Vet.* 1998;30(2):17-27. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X1998000200002>