

Artículo científico

Efecto de la suplementación de β -caroteno en vacas lecheras sobre concentraciones en sangre y calostro, reproducción y salud de la ubre

Eduardo Aguiar-Zalzano¹, Augusto Rojas-Bourrillon², Julio Murillo-Barrantes³

Resumen

Los forrajes verdes presentan altas concentraciones de β -caroteno, pero estas pueden verse reducidas durante su almacenamiento pasando de niveles de 300 ppm a 10 ppm al finalizar el invierno. Las concentraciones de β -caroteno en las vacas se ven afectadas por el ciclo productivo, donde las concentraciones plasmáticas decrecen durante el periodo seco alcanzando su punto más bajo cerca del día 4 o 6 postparto, pudiendo ocasionar problemas reproductivos por la posible afectación de los niveles de progesterona. Por ello se realizó este estudio entre agosto de 2014 y diciembre de 2015 en San Pedro de Poás (Costa Rica), en una lechería semi-estabulada. Se evaluó el efecto de diferentes fuentes de β -caroteno sobre sus concentraciones en el calostro y la sangre, la concentración de progesterona, los parámetros reproductivos y las células somáticas en leche. Se evaluaron 18 vacas secas, separadas en 3 grupos (Control, β -caroteno parenteral (T1) y β -caroteno enteral (T2)). Las concentraciones plasmáticas de β -caroteno se vieron afectadas durante el ciclo productivo, siendo el nivel más bajo justo después del parto ($p < 0.015$). La administración enteral del β -caroteno únicamente fue capaz de producir cambios significativos en las concentraciones sanguíneas de progesterona y β -caroteno durante los primeros 120 días postparto, sin afectar significativamente los parámetros reproductivos de las vacas evaluadas ni los conteos de células somáticas.

¹ Eduardo Aguiar-Zalzano. Médico veterinario independiente, San José, Costa Rica. Autor para correspondencia: eduardo-aguiarz@hotmail.com.

² Augusto Rojas-Bourrillon. Ingeniero Zootecnista independiente, San José, Costa Rica. Correo electrónico: arojasbourrillon@gmail.com.

³ Julio Murillo-Barrantes. Médico veterinario independiente, San José, Costa Rica. Correo electrónico: jmurillovet@gmail.com.

Recibido: junio 13 2021 Aceptado: abril 16 2022

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



Palabras claves: vitamina A, progesterona, parto, retención de membranas fetales, mastitis, células somáticas.

Abstract

Effect of β -carotene supplementation in dairy cows on concentrations in blood and colostrum, reproduction and udder health. Green forages have high concentrations of β -carotene, but these can be reduced during storage, from levels of 300 ppm to 10 ppm at the end of winter. β -carotene concentrations in cows are affected by the productive cycle, where plasma concentrations decrease during the dry period, reaching their lowest point around day 4 or 6 postpartum; causing reproductive problems due to the possible affectation of progesterone levels. This study was carried out between August 2014 and December 2015 in San Pedro de Poás (Costa Rica), in a semi-stabled dairy. The effect of different sources of β -carotene on its concentrations in colostrum and blood, progesterone concentration, reproductive parameters and somatic cells in milk was evaluated. Eighteen dry cows were used for this study, separated into 3 groups (Control, parenteral β -carotene (T1) and enteral β -carotene (T2)). Plasma concentrations of β -carotene were affected during the productive cycle, being the lowest level just after calving ($p < 0.015$). Enteral administration of β -carotene was only able to produce significant changes in blood concentrations of progesterone and β -carotene during the first 120 days postpartum, without significantly affecting the reproductive parameters of the evaluated cows or somatic cell counts.

Keywords: Vitamin A, progesterone, calving, retention of fetal membranes, mastitis, somatic cells.

Introducción

La vitamina A y los β -carotenos son esenciales en la nutrición de las vacas, ya que desempeñan un papel importante en su eficiencia reproductiva y en sus procesos metabólicos (Bendich y Olson, 1989; Kaewlamun et al., 2011). Sin embargo, los bovinos no son capaces de sintetizar el β -caroteno a partir de otros compuestos y este tiene gran importancia como precursor de vitamina A, por lo que se hace necesaria su administración en aquellos sistemas de alimentación que presenten deficiencias (Searles y Armstrong, 1970).

Aunque los forrajes verdes presentan altas concentraciones de β -caroteno, estos se pueden reducir considerablemente durante su almacenaje, pasando de 300 ppm a 10 ppm al finalizar el invierno en países templados (Arikan y Rodway, 2001). No obstante, esto es similar a lo observado en el trópico luego de los procesos de almacenamiento de forraje durante la época seca. Kalač (2013), evaluó mermas en las concentraciones de β -caroteno sobre forrajes deshidratados, ensilajes y heno; y obtuvo mermas de 19%, 59% y 82% respectivamente en comparación con las concentraciones iniciales de cada uno. Además, el pH puede incrementar las pérdidas de β -caroteno siendo mayor en forrajes con altos niveles de pH, razón por la cual los ensilajes de leguminosas tienen mayor pérdida del compuesto (Vogdanou, 2014).

La altura de corta de la gramínea y la época de cosecha también puede afectar las concentraciones de β -caroteno, como lo demostraron Antoszkiewicz et al. (2019), quienes evaluaron la planta *Sida hermaphrodita* (esta florece en verano en Estados Unidos). Notaron que, si esta se poda a una altura entre 35 y 45 cm, tenía mayores concentraciones de β -caroteno y tocoferoles totales comparada con podas a 15 y 25 cm.

En el rumen también existe una degradación parcial de la vitamina A y el β -caroteno ingerido. Keating et al. (1964) reportaron pérdidas in vitro de 83,4% en 3,5 horas y 72,7% a las 16 horas de incubación; mientras que Weiss (1998) informó mermas in vitro de 60% y 72% del retinol en solo 12 horas de incubación. Por otra parte, Van Soest (1982) menciona que es probable que los carotenoides escapen al intestino delgado sin ser degradado en el retículo-

rumen. De igual forma, la raza del animal tiene efecto sobre el metabolismo del β -caroteno, siendo más eficientes aquellas vacas que contienen más grasa en la leche y mayor contenido de tejido adiposo blanco en el intestino (McDowell, 2000).

Las concentraciones sanguíneas de β -carotenos se deben encontrar entre 300 y 1200 $\mu\text{g}/\text{dl}$. Los valores inferiores a 7 $\mu\text{g}/\text{dl}$ de vitamina A, o su equivalente a 100 $\mu\text{g}/\text{dl}$ de β -caroteno en sangre, se consideran como una deficiencia severa. Los valores intermedios contenidos entre 100 y 300 $\mu\text{g}/\text{dl}$ se toman como una deficiencia leve (Michael et al., 1994). Sin embargo, la suplementación de β -caroteno y/o vitamina A en animales con niveles menores a 300 $\mu\text{g}/\text{dl}$ y 25 $\mu\text{g}/\text{dl}$, respectivamente, ha generado un efecto beneficioso sobre los parámetros reproductivos (Quintela et al., 2008).

Las bajas concentraciones de progesterona son consideradas como uno de los factores causantes de la pérdida embrionaria temprana en vacas (Quintela et al., 2008); reportando una relación positiva entre los niveles de β -caroteno en plasma y la progesterona producida por las células del cuerpo lúteo (Grave-Hoagland et al., 1988). Los niveles de β -carotenos en el cuerpo lúteo se ven afectados por la época del año, entre otras cosas, observando valores mayores en períodos de mayor oferta de forraje fresco (Arikan y Rodway, 2001). En regiones tropicales, como es el caso de Costa Rica, esta pérdida puede ocurrir en el período de sequía pues la oferta de forrajes frescos es escasa. Por esta razón se incrementa la utilización de forrajes conservados (heno y/o silo), los cuales no representan un aporte importante de β -caroteno en la dieta. Dicha situación ya fue reportada por Torsein et al. (2018), quienes observaron, en estudios realizados al sur de Suecia, concentraciones sanguíneas de β -caroteno menores en suero sanguíneo al administrar dietas con alta inclusión de silo de maíz.

La administración de vitamina E sola o con β -caroteno logra disminuir la incidencia de mastitis clínica y subclínica en vacas (Chawla y Kaur 2004). En cambio, los niveles bajos de β -caroteno y de vitamina A durante el parto se asocian con una mayor incidencia en la retención de membranas fetales (Akar y Gazioglu, 2006).

Considerando las múltiples funciones que tienen la vitamina A y el β -caroteno como precursores en los bovinos, se realizó este estudio con el objetivo de cuantificar los efectos de la suplementación de β -carotenos sobre los parámetros reproductivos, calidad de la leche (conteo de células somáticas) y su concentración en sangre y calostro.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en la finca "El Milagro", ubicada en San Juan de San Pedro de Poás, provincia de Alajuela, Costa Rica. Una zona que se encuentra a 1300 m.s.n.m. y registra una precipitación al año de 3500 mm y una temperatura anual media de 11,5 °C, según datos de la estación meteorológica del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) en Laguna de Fraijanes. Es considerado un bosque muy húmedo premontano según la clasificación geo-ecológica (Quesada, 2007). La toma de los datos se llevó a cabo entre agosto del 2014 y diciembre del 2015.

El estudio se realizó con 18 vacas cruzadas: Holstein-Pardo Suizo y Holstein-Jersey. Presentaron un peso vivo entre 450 kg y 550 kg al iniciar el estudio y una condición corporal entre 3,25 y 3,75, garantizando un adecuado estado nutricional de las vacas. Se realizó la palpación transrectal de los animales y se confirmó que estaban en el último tercio de la gestación, para posteriormente realizar la asignación del tratamiento (Control, β -caroteno enteral y β -caroteno parenteral) de manera aleatoria y distribuyéndolos de forma equitativa durante toda la etapa de muestreo, de esta manera se evitó que alguno de los tratamientos tuviera mayor número de animales en una determinada época del año.

Para realizar el experimento se separaron los animales en tres tratamientos; con seis repeticiones cada uno y distribuidos completamente al azar. Las vacas asignadas a Control se suplementaron únicamente con la dieta base sin recibir suplemento alguno de β -caroteno. Las vacas pertenecientes al Tratamiento 1 recibieron, aparte de la dieta base, una inyección intramuscular de 3,5 ml de Dalmavital[®] por cada 100 kg de PV (equivalentes a 52,5 mg de β -caroteno por cada 100 kg de PV); la cual fue administrada 30 días postparto conforme al

protocolo recomendado por el laboratorio Fatro[®]. Por otra parte, las vacas asignadas al Tratamiento 2 recibieron la dieta base adicionándole 3 g de Rovimix β -caroteno[®] 10% (lo que equivale a 300 mg de β -caroteno) con el mineral recomendado por DSM[®]. Además, se aplicó a partir del día 30 preparto y durante 150 días. De igual forma, las vacas sometidas al Control y al Tratamiento 2 fueron inyectadas con 30 ml de solución fisiológica al día 30 postparto (Figura 1).

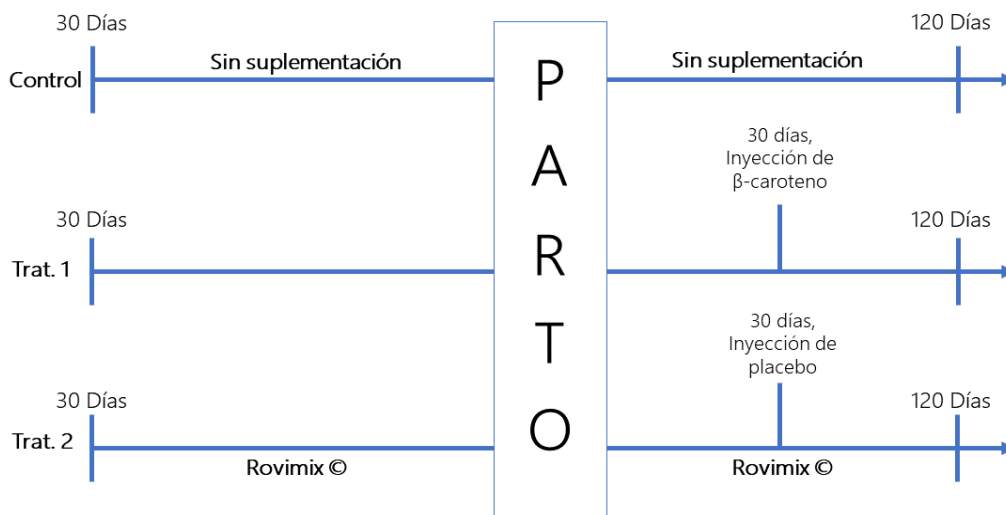


Figura 1. Protocolos de alimentación con diferentes fuentes de β -caroteno:

Control sin suplementación de β -caroteno.

Trat. 1 suplementación de β -caroteno parenteral Dalmavital[®].

Trat. 2 suplementación con β -caroteno enteral Rovimix β -caroteno[®], β -caroteno 10%.

Todas las vacas fueron alimentadas con una dieta balanceada por medio del programa NRC 2001 (National Research Council 2001) según su estatus productivo (seca o inicio de lactancia) suministrando: concentrado VapFeed[®] o Pre-Parto[®], residuo de cervecería, Citrocom[®], cáscara de piña y pasto estrella africana (*Cynodon nlemflensis*) de 45 días (Cuadro 1). En el próximo cuadro se puede notar el aporte de β -carotenos en ambas etapas productivas, sin considerar los aportes realizados con el suplemento enteral y parenteral en cada tratamiento. Es importante destacar que esta finca cuenta con aproximadamente 30 vacas en ordeño en una extensión menor a 1 hectárea, lo cual las obliga a realizar una alimentación con muy poco aporte de materia fresca, pudiendo comprometer el aporte de β -carotenos y/o vitamina A.

Cuadro 1. Concentración de β -caroteno en las dietas ofrecidas a las vacas en la finca "El Milagro" provenientes de los ingredientes de la dieta base.

Material	Aporte de β -Caroteno (mg/kg MS)	Secas (Consumo kg MS/vaca/día)	Lactación (Consumo kg MS/vaca/día)
Cáscara de piña	1,2	2,1	4,3
Pasto Estrella	40,74	2,08	2,2
Citrocom [®]	14,41	0,87	1,8
Residuo de cervecería	2,15	2,72	4,2
Vapfeed [®]	32,89	-	2,3
Pre-parto [®]	34,10	1,31	-
Multiplex*	3,156,95*	0,09*	-
Boviplex*	2,173,29*	-	0,1*

* Aportado únicamente a vacas tratadas con β -caroteno enteral.

Datos tomados al iniciar el estudio con muestras tomadas directamente de la finca "El Milagro".

Cuadro 2. Concentración de β -caroteno en las vacas de la finca "El Milagro" provenientes de los ingredientes de la dieta base.

Tratamiento Total (mg/día)	Secas	Lactación
Control	150,31	205,40
T1 (β -caroteno parenteral)	150,31	205,40
T2 (β -caroteno enteral)	434,44	422,732

Los requerimientos de β -caroteno según Chew et al. (1987), citado por Oliveira et al. (2015), son 300 - 600 mg/día.

Como parte del manejo rutinario de la finca, todas las vacas fueron sometidas a un programa de inseminación artificial a partir del día 60 de lactación. Este fue realizado por la misma persona siguiendo la regla am-pm, de acuerdo con la observación del celo. De la misma manera, todas las vacas contaron con un registro productivo en el VAMPP[®] donde se documentaba alguna alteración productiva o reproductiva relevante, para posteriormente ser analizada estadísticamente para efectos del estudio.

Tomas de muestra de sangre

Fue colectada de la vena caudal mediante el uso de vacutainer y tubos de ensayo con heparina, la cual no interfiere con el procedimiento de análisis de progesterona. La sangre colectada se utilizó tanto en los análisis de progesterona como en los de β -caroteno en plasma. Para el estudio de la progesterona se escogieron 6 vacas al azar (2 vacas por cada tratamiento); estas fueron muestreadas dos veces por semana para lograr obtener así el pico de progesterona en el ciclo estral.

Medición de progesterona

Este procedimiento se realizó en el laboratorio de fertilización *in vitro* de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional. Se realizó por medio de las copas comerciales ST AIA PACK PROGESTERONA II[®] de la marca Tosoh Bioscience; la progesterona es procesada por el equipo de inmunoensayo automatizado AIA-360[®]. Este equipo realiza la medición mediante fluorescencia competitiva de inmunoabsorción ligado a enzimas, permitiendo cuantificar la progesterona presente en el plasma gracias a un sensor presente en el equipo. El estudio se realizó en copas de muestras de un único uso, las cuales contienen todos los reactivos necesarios; incluidas unas perlas magnéticas impregnadas con anticuerpos y progesterona marcada con una enzima.

Antes de iniciar las mediciones se realizó la calibración, el chequeo diario y los procedimientos de mantenimiento y uso de controles de diferente concentración (MultiAnalyte Control-MAC[®], Tosoh Bioscience) de conformidad a lo descrito en el "Manual del Usuario" provisto por la casa comercial. Por lo que, debido al bajo volumen de muestra semanal, todas las muestras de plasma sanguíneo fueron congeladas a -20 °C para posteriormente ser procesadas.

Análisis de β -caroteno en sangre

Este estudio se realizó en las 18 vacas, una vez por semana y durante 150 días (desde el día 30 preparto hasta el día 120 postparto).

La medición se realizó *in situ* por medio del equipo iCheck© (BioAnalytGmbH, Teltow, Alemania). Se tomaron 400 μ l de sangre del tubo de heparina y se introdujo en un vial de iEx©, el cual luego de 10 segundos de mezclado separó la sangre y el β -caroteno por medio de disolventes orgánicos, permitiendo así su posterior medición a través de un espectrofotómetro portátil.

Análisis de β -caroteno en calostro

Este estudio se realizó en el laboratorio del CITA en la UCR con todas las vacas del estudio y tomando únicamente el calostro al momento del parto. Para su cuantificación se empleó la metodología oficial descrita por la AOAC 941.15 (2005).

Conteo de células somáticas en leche

Se realizó en todas las vacas del estudio tomando muestra de los cuatro cuartos de la vaca al inicio del ordeño con una frecuencia semanal. Esta muestra fue procesada mediante un contador fluorofotoelectrónico de células somáticas, Fossomatic 400©, que expresa los resultados en cél/ml⁴. Este análisis fue realizado con la colaboración de los laboratorios de la Cooperativa de Productores de Leche Dos Pinos R.L.

Evaluación ginecológica mediante ultrasonido

Esta evaluación se realizó en todas las vacas con una frecuencia quincenal, iniciando al momento del parto y continuando la evaluación hasta el día 120 postparto, o hasta que se confirmó la gestación. Para el mismo se utilizó un ultrasonido Ibex pro con un transductor lineal de 5MHz. Este equipo permitió realizar la evaluación y la medición de los folículos o del cuerpo lúteo presente, dependiendo del punto en el ciclo estral en el que se encontraba el animal al momento de la evaluación.

Análisis Estadístico

Los datos obtenidos en este experimento se presentan como media de la desviación estándar y fueron sometidos a análisis de la varianza (ANOVA). Se calcularon las diferencias

estadísticas entre T1, T2 y Control mediante prueba de Tukey para las mediciones de: concentraciones de β -caroteno y progesterona en sangre, intervalo de parto, primer servicio, diámetro del cuerpo lúteo y útero, concentración de β -caroteno en calostro y conteo de células somáticas en leche. El efecto sobre la preñez a los 120 días se evaluó comparando los tratamientos con el Control mediante Chi cuadrado. Todos los cálculos se llevaron a cabo utilizando un sistema de análisis estadístico R 2.15.0, por medio de la aplicación Rcmdr 1.9-6 y el ANOVA de múltiples factores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La vía de administración del β -caroteno tuvo un efecto significativo sobre sus concentraciones en la sangre. Se obtuvo una mayor concentración promedio en aquellas vacas suplementadas de forma enteral con β -caroteno (T2), seguidas de las suplementadas vía parenteral (T1), mientras que aquellas que no recibieron ningún suplemento (Control) fueron las que presentaron, en promedio, la menor concentración.

Cuadro 3. Efecto de la suplementación de β -caroteno enteral o parenteral, sobre las concentraciones de β -caroteno en sangre ($\mu\text{g}/\text{dl}$).

Etapa	Tratamiento	N	Media \pm DE	p
I Preparto	Control	6 X 4	336,73 ^a \pm 100,64	< 0.05
	β -caroteno parenteral	6 X 4	369,21 ^{ab} \pm 126,41	
	β -caroteno enteral	6 X 4	417,77 ^b \pm 111,69	
II 0 a 30 postparto	Control	6 X 4	268,81 ^a \pm 60,69	< 0.01
	β -caroteno parenteral	6 X 4	310,73 ^{ab} \pm 68,44	
	β -caroteno enteral	6 X 4	365,63 ^b \pm 132,08	
III 31 a 60 postparto	Control	6 X 4	298,75 ^a \pm 130,13	< 0.01
	β -caroteno parenteral	6 X 4	515,27 ^{ab} \pm 165,36	
	β -caroteno enteral	6 X 4	588,71 ^b \pm 215,41	
IV 61 a 90 postparto	Control	6 X 4	461,70 ^a \pm 253,57	< 0.001
	β -caroteno parenteral	6 X 4	584,64 ^a \pm 155,15	
	β -caroteno enteral	6 X 4	759,54 ^b \pm 282,97	
V 91 a 120 postparto	Control	6 X 4	458,21 ^a \pm 238,55	< 0.001
	β -caroteno parenteral	6 X 4	640,18 ^b \pm 129,31	
	β -caroteno enteral	6 X 4	739,56 ^b \pm 309,99	

Prueba de Tukey. Las letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

En la Figura 2 se aprecia el comportamiento de las concentraciones de β -caroteno en las diferentes etapas del preparto y postparto, evidenciando que desde el preparto los animales suplementados con β -caroteno enteral presentaron una concentración plasmática promedio superior. En este sentido, Kaewlamun et al. (2012) mencionaron que al dar un suplemento dietético de β -caroteno en una forma purificada a las vacas lecheras, este escapa de la degradación completa en el rumen, aumentando así las concentraciones circulantes sin afectar las funciones metabólicas una vez retirado el suplemento (Figura 2).

El grupo suplementado con β -caroteno parenteral (T1) presenta concentraciones sanguíneas estadísticamente iguales al tratamiento Control, durante el preparto y los primeros 30 días postparto. Sin embargo, se observa un incremento significativo posterior al día 30 del tratamiento, alcanzando concentraciones estadísticamente similares a los del T2 a partir del día 90 postparto.

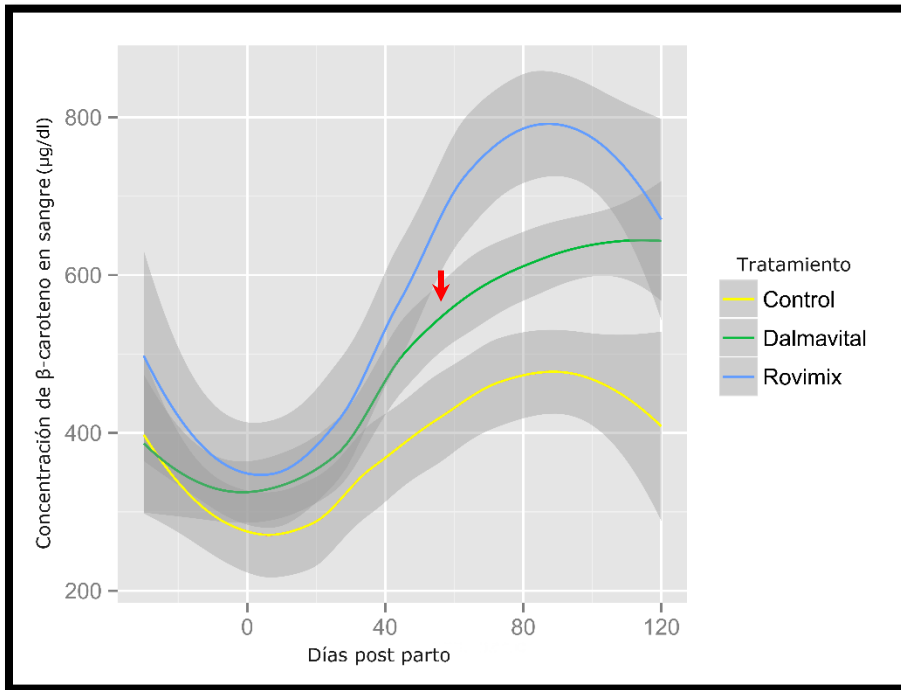


Figura 2. Efecto de la suplementación de β -caroteno sobre las concentraciones de β -caroteno en sangre ($\mu\text{g}/\text{dl}$) y sus variaciones durante el preparto y postparto.

*La flecha roja indica el punto cuando se inyectó el β -caroteno parenteral

De igual forma, se pudo notar una reducción en las concentraciones de β -caroteno en sangre al momento del parto, incrementándose conforme avanzaba la vaca en la etapa de lactación. Esta situación es similar a la observada por Johnston y Chew (1984) en un estudio realizado en Estados Unidos, quienes notaron que las concentraciones plasmáticas de β -caroteno decrecen durante el periodo seco y alcanzan el punto más bajo cerca del día 4 o 6 postparto. De igual manera, Oliveira et al. (2015) indicaron que la suplementación enteral de β -caroteno durante el preparto aumentó su concentración en la sangre durante el postparto (Figura 2).

La suplementación enteral de β -caroteno (T2) permitió mantener, en promedio, la concentración plasmática mayor hasta el día 90 postparto; momento en el cual el grupo tratado con β -caroteno parenteral presentó valores sanguíneos estadísticamente iguales al grupo con enteral, siendo ambos superiores al Control. El grupo del T1 sufrió un incremento de las concentraciones sanguíneas después de su aplicación (al día 30 postparto), logrando tener un valor estadísticamente igual al T2 entre los días 31 y 60 postparto. En contraste, el

grupo Control fue el que mantuvo siempre la menor concentración sanguínea de β -caroteno. Se observa que todos los grupos tratados presentaron valores promedios superiores a 300 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (Figura 2).

Durante los 30 días del parto se pudo observar que los animales suplementados con β -caroteno enteral, presentaron una diferencia significativa en la concentración sanguínea de β -caroteno, siendo superior al grupo Control; situación que se mantuvo también durante los 120 días postparto. En este sentido, Kawashima et al. (2009) mencionan que las concentraciones sanguíneas de β -caroteno bajas, propias del parto, podrían ocasionar problemas reproductivos posteriormente. Esto se debe a que las concentraciones sanguíneas del compuesto durante este periodo podrían estar relacionadas con mecanismos que producen la primera ovulación postparto, provocando así un pobre índice ovulatorio en la primera onda folicular.

Durante el parto y los primeros 60 días del postparto, el grupo que recibió β -caroteno parenteral mantuvo concentraciones sanguíneas de β -caroteno estadísticamente similares al Control y al suplementado de forma enteral. No obstante, entre el día 61 y 90 postparto mantuvo los valores estadísticamente similares al Control, pero inferiores al T2. Durante la etapa final del estudio (entre el día 91 y 120 postparto) se observó que la concentración sanguínea de β -caroteno fue estadísticamente similar en ambos grupos tratados y significativamente mayor al tratamiento Control. Por tanto, se puede afirmar que al administrar de forma enteral β -caroteno permite una concentración más estable en sangre, aunque la administración parenteral permitió un incremento rápido de las concentraciones sanguíneas alcanzando niveles similares a los del T2 en la etapa crítica de reproducción, entre los 90 y 120 días postparto.

Niveles de progesterona en la sangre

Al administrar β -caroteno por vía enteral se observó un incremento estadísticamente significativo posterior a los 30 días de administración. Por su parte, los animales que recibieron el suplemento por vía enteral alcanzaron una diferencia significativa posterior a los

60 días de administración del producto. Este resultado difiere de lo observado en el estudio realizado por Kaewlamun et al. (2011), quienes no notaron un efecto en las concentraciones de progesterona al administrar β -caroteno a las vacas durante el periparto; afirmando también la importancia de las altas concentraciones sanguíneas de esta hormona para lograr una adecuada instauración de la gestación.

En el Cuadro 4 se puede notar que durante los primeros 30 días postparto no se presentaron diferencias significativas en las concentraciones de progesterona en sangre, debido a que en esta etapa aún no se ha reanudado el ciclo estral. Sin embargo, durante la segunda y tercera etapa (del día 31 al día 90 postparto) el grupo suplementado vía enteral presentó concentraciones sanguíneas superiores a los otros dos tratamientos. Por su parte, en la cuarta etapa (91 a 120 días postparto) se observó que los grupos suplementados con β -caroteno presentaron concentraciones sanguíneas de progesterona superior al Control, pero únicamente las de β -caroteno enteral obtuvieron un promedio superior a 4 ng/ml, indicando un adecuado pico de progesterona en la fase lútea (Grajale et al., 2010). En este sentido, se puede afirmar que la suplementación de β -caroteno enteral produjo un rápido reinicio del ciclo estral.

Cuadro 4. Efecto de la suplementación de β -caroteno sobre las concentraciones de progesterona en la sangre (ng/ml) y sus variaciones durante el postparto.

Etapa	Tratamiento	Media \pm DE	p
I Parto a 30 días pp	Control	0,25 ^a \pm 0,087	0.1
	β -caroteno parenteral	0,81 ^a \pm 1,28	
	β -caroteno enteral	0,37 ^a \pm 0,19	
II 31 a 60 días pp	Control	0,21 ^a \pm 0,12	0.001
	β -caroteno parenteral	0,73 ^a \pm 0,28	
	β -caroteno enteral	3,31 ^b \pm 2,54	
III 61 a 90 días pp	Control	0,17 ^a \pm 0,09	0.001
	β -caroteno parenteral	1,50 ^a \pm 1,76	
	β -caroteno enteral	3,70 ^b \pm 3,40	
IV 91 a 120 días pp	Control	0,23 ^a \pm 0,25	0.01
	β -caroteno parenteral	4,02 ^b \pm 4,51	
	β -caroteno enteral	3,89 ^b \pm 2,98	

Prueba de Tukey. Las letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

*pp=postparto.

La administración continua de forma enteral permitió tener una concentración de progesterona significativamente más elevada durante los primeros 90 días postparto, alcanzando una concentración promedio superior durante los primeros 120. Este incremento en los niveles de progesterona pudo deberse al aprovechamiento de β -caroteno por parte del cuerpo lúteo, como lo expresaron Grave-Hoagland et al. (1988), quienes reportaron una relación positiva entre los niveles de β -caroteno en plasma y la progesterona producida por las células del cuerpo lúteo.

Trojačanec et al. (2012) obtuvieron respuestas similares al administrar 200 mg de β -caroteno intramuscular durante la sincronización del celo con $\text{PGF}_{2\alpha}$. Observaron entre el día 4 y 11 del ciclo estral un aumento significativo ($p < 0.05$) en los niveles de progesterona en la sangre antes de la inducción del estro; en comparación con el grupo que únicamente recibió 50,000 UI de vitamina A intramuscular y los controles. Mientras que, en la fase lútea, las vacas que recibieron vitamina A en el tratamiento demostraron niveles de progesterona significativamente mayores en comparación con las vacas de Control y las que recibieron únicamente el β -caroteno en la dieta.

Trojačanec et al. (2012) también notaron que la suplementación de β -caroteno podría mejorar el desarrollo del tejido lúteo, así como la producción de progesterona solamente en animales con déficit significativo de β -caroteno ($171,825 \pm 1,039 \mu\text{g/dl}$). Por otra parte, la vitamina A como un agente terapéutico primario en combinación con β -caroteno, tiene mejor efecto en los parámetros de reproducción que solo. Sin embargo, en el presente estudio, las vacas presentaron valores superiores de β -caroteno en sangre ($375 \pm 177 \mu\text{g/dl}$), condición que pudo afectar el cambio en la respuesta hormonal en el grupo al que se le midió concentraciones de progesterona en sangre.

Intervalo parto-primer servicio

La evaluación del celo se realizó de forma visual por la persona encargada de la inseminación en la granja, la cual no estaba al tanto de los tratamientos asignados a cada vaca. Se realizó

la inseminación artificial únicamente en aquellas vacas que presentaron moco vaginal cristalino y estatus sanitario adecuado.

Durante el estudio no se cuantificaron diferencias significativas, sin embargo, las vacas tratadas con β -caroteno enteral presentaron en promedio un menor número de días al primer servicio (81,67), si se compara con 128,17 y 93 obtenidos por las vacas tratadas con β -caroteno parenteral y Control respectivamente (Cuadro 5). De igual forma, el β -caroteno puede colaborar en una involución uterina adecuada, junto a sus bondades antioxidantes e inmunológicas, a la rápida reactivación normal uterina y producción de un moco vaginal cristalino. En este estudio no hubo presencia de vacas con retención de membranas fetales; como lo demostraron Kaewlamun et al. (2011), quienes notaron que al administrar 1 g/vaca/día de β -caroteno se reduce significativamente la hidroxiprolina sanguínea (un indicador de la involución uterina), y generó un efecto positivo en el porcentaje de leucocitos polimorfonucleares tanto en el útero como en el cuello uterino, en comparación con las vacas de Control. Esto último refleja una mejor salud uterina beneficiando el comportamiento reproductivo.

Cuadro 5. Efecto de la suplementación de β -caroteno sobre el intervalo parto-primer servicio (días).

Tratamiento	N	Cuadro Media \pm DE	p
Control	6	93 ^a \pm 35,84	0.25
β -caroteno parenteral	6	128,17 ^a \pm 68,25	
β -caroteno enteral	6	81.67 ^a \pm 33,08	

Sin embargo, las funciones reproductivas son multifactoriales; como lo demostraron Akordor et al. (1986), quienes concluyeron que el β -caroteno corrige anomalías en la fertilidad si se cumplen los requerimientos de vitamina A. Además, Oliveira et al. (2015) notaron que la suplementación de 1,2 g/vaca/día de β -caroteno no afectó la proporción de vacas preñadas en el primer servicio a los 90 y 150 días postparto, ni alteró la proporción de vacas con progesterona sérica por encima de 1 ng/ml a los 21 y 42 días postparto.

Efecto del β -caroteno sobre la preñez a los 120 días postparto

Los niveles de β -caroteno producen efectos directos sobre el sistema reproductivo. Como lo mencionan Jukola et al. (1996), existe una disminución de los signos externos del estro y la fertilidad en vacas con deficiencia de β -caroteno, considerando en ambos casos, niveles inferiores a 200 $\mu\text{g}/\text{dl}$ como deficientes. En la presente investigación, la suplementación enteral o parenteral de β -caroteno tuvo un efecto directo sobre las concentraciones en sangre, y a un incremento en los niveles de progesterona sanguínea, lo que se asociaría a un adecuado comportamiento reproductivo.

La mayor concentración de progesterona en la sangre puede estar relacionada con una adecuada instauración embrionaria, pudiendo así garantizar la gestación antes del día 120 postparto. Sin embargo, al confirmar la preñez a los 120 días por ultrasonido, no se observan diferencias significativas entre los tratamientos. Pese a esto, el 50% de las vacas tratadas con β -caroteno enteral quedaron preñadas antes de los 120 días, superior al 33% y 16% obtenido por el grupo tratado con β -caroteno parenteral y Control, respectivamente. Aguiar y Rojas (2015) observaron que las vacas con concentraciones sanguíneas de β -caroteno superiores a 5,87 mg/ml (587 $\mu\text{g}/\text{dl}$), tuvieron un mayor índice de preñez si se comparan con las vacas que presentaron concentraciones promedio de 4,31 mg/ml (431 $\mu\text{g}/\text{dl}$). Esto podría semejarse al tratamiento enteral, que presentó las mayores concentraciones sanguíneas de β -caroteno (573,68 $\mu\text{g}/\text{dl}$), aunque esto no representó una diferencia significativa en los índices de preñez (Cuadro 6). De igual forma, Trojačanec et al. (2012), reportaron un porcentaje de preñez de 46,7% sin variaciones significativas entre los grupos suplementados con 200 mg de β -caroteno (vía parenteral) y el Control. Sin embargo, estos mismos autores lograron evidenciar una correlación entre la concentración sérica de β -caroteno en la inseminación y las concentraciones de progesterona ($r=0.33$, $p<0.05$), la tasa de concepción ($r=0.39$, $p<0.01$), las concentraciones séricas de β -caroteno en el día 7 de la fase lútea y las de progesterona ($r=0.51$, $p<0.01$).

Cuadro 6. Efecto de la suplementación de β -caroteno enteral y parenteral sobre la preñez a los 120 días postparto.

Tratamiento	N	Vacas Preñez a los 120 días		p
		Sí	No	
Control	6	1 ^a	5	0.47
β -caroteno parenteral	6	2 ^a	4	
β -caroteno enteral	6	3 ^a	3	

Test de independencia Chi-cuadrado, letras diferentes indican diferencia entre tratamientos.

*Valores de referencia: el valor reducido de N dificulta observar posibles diferencias entre tratamientos.

Goto et al. (1989) evaluaron vacas super ovuladas, y obtuvieron una mejor calidad y supervivencia embrionaria en aquellas que presentaron niveles plasmáticos de β -carotenos por encima de 200 $\mu\text{g}/\text{dl}$, por lo que estas tenían mayor posibilidad de desarrollar una gestación pronta en el postparto (antes de los 120 días). Sin embargo, Shaw et al. (1995) observaron que las vacas no produjeron mayor número de óvulos al ser suplementadas con vitamina A durante el inicio del proceso de súper ovulación; aunque las tratadas lograron un mayor número de óvulos transferibles totales y de mejor calidad, al compararlas con las vacas que no recibieron este suministro.

Como se mencionó, en este estudio no se pudieron apreciar las mejoras reproductivas debido al número de repeticiones empleadas en cada tratamiento, puesto que la limitación propia de la explotación no permitió el empleo de más animales en la investigación. De igual forma, la integridad del sistema reproductivo es esencial para garantizar el efecto positivo de la suplementación con β -caroteno. Esto lo demostraron Iwańska y Strusińska (1997) con un efecto positivo sobre la tasa de preñez al suplementar a las vacas con β -caroteno y vitamina A; esto siempre que los animales tengan un sistema reproductivo sano.

Efecto sobre el diámetro uterino y tamaño de cuerpo lúteo.

Durante el postparto, las vacas fueron evaluadas ginecológicamente cada 15 días mediante ultrasonido transrectal. Se les tomaron mediciones del cuerpo lúteo observado y el diámetro del cuerno uterino; igualmente, tomando en cuenta el de mayor diámetro para evaluar la regeneración uterina postparto.

En el estudio no se ve una diferencia significativa entre los tratamientos al medir los diámetros de los cuerpos lúteos, aunque entre los 61 y 120 días postparto sí se observó que los diámetros promedio de las vacas tratadas con β -caroteno enteral fueron mayores, si se compara con los de las vacas de los otros tratamientos (Cuadro 7). Esto se puede asociar a que las mayores concentraciones de progesterona fueron observadas en las vacas tratadas con β -caroteno enteral. Estos resultados difieren de los concluidos por Trojačanec et al. (2012), quienes reportaron aumentos significativos en el tamaño del cuerpo lúteo y concentración sérica de progesterona ($p < 0.05$ y $p < 0.01$, respectivamente) al suplementarlas con vitamina A y β -caroteno, en comparación con aquellas vacas suplementadas únicamente con β -caroteno y el Control.

Cuadro 7. Efecto de la suplementación de β -caroteno enteral o parenteral en el diámetro del cuerpo lúteo (mm).

Etapa	Tratamiento	Media DE	p
I Parto a 30 días pp	Control	11,00 ^a ± 1.82	0.46
	β -caroteno parenteral	13,75 ^a ± 3.20	
	β -caroteno enteral	13,00 ^a ± 3,74	
II 31 a 60 días pp	Control	25,16 ^a ± 3,13	0.83
	β -caroteno parenteral	27,25 ^a ± 9,29	
	β -caroteno enteral	25,16 ^a ± 3,77	
III 61 a 90 días pp	Control	12,75 ^a ± 4,19	0.55
	β -caroteno parenteral	14,16 ^a ± 8,60	
	β -caroteno enteral	16,90 ^a ± 4,71	
IV 91 a 120 días pp	Control	22,80 ^a ± 7,36	0.83
	β -caroteno parenteral	22,29 ^a ± 3,09	
	β -caroteno enteral	23,88 ^a ± 5,03	

Prueba de Tukey. Las letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

*pp= postparto

De igual forma, como se observa en el Cuadro 8, no hubo diferencia significativa en el diámetro del cuerno uterino entre tratamientos, al igual que lo observado anteriormente con el cuerpo lúteo. El promedio del cuerno uterino de aquellas vacas tratadas con β -caroteno enteral fue numéricamente mayor entre los 61 y 120 días postparto, si se compara con aquellas vacas tratadas β -caroteno parenteral y Control. Esto pudo deberse a las mayores

concentraciones de progesterona, generando un incremento en el diámetro de los cuernos uterinos; propio del diestro, etapa del ciclo estral donde se instaura la gestación.

Cuadro 8. Efecto de la suplementación de β -caroteno enteral o parenteral sobre el diámetro uterino (mm).

Etapa	Tratamiento	Media DE	p
I Parto a 30 días pp	Control	22,00 ^a ± 4,61	0.48
	β -caroteno parenteral	24,67 ^a ± 2,31	
	β -caroteno enteral	26,00 ^a ± 5,97	
II 31 a 60 días pp	Control	25,16 ^a ± 3,13	0.83
	β -caroteno parenteral	27,25 ^a ± 9,29	
	β -caroteno enteral	26,75 ^a ± 3,77	
III 61 a 90 días pp	Control	22,33 ^a ± 6,66	0.64
	β -caroteno parenteral	22,80 ^a ± 3,70	
	β -caroteno enteral	25,00 ^a ± 5,36	
IV 91 a 120 días pp	Control	22,80 ^a ± 7,36	0.83
	β -caroteno parenteral	22,29 ^a ± 3,09	
	β -caroteno enteral	23,87 ^a ± 5,02	

Prueba de Tukey. Las letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

*pp= postparto

Niveles de β -caroteno en calostro

En este caso únicamente se compararon las 6 vacas tratadas con β -caroteno enteral con las 12 vacas pertenecientes al tratamiento Control y T1, pues este último aún no había recibido el suplemento intramuscular de β -caroteno.

No se observó que la administración enteral incrementara significativamente las concentraciones de β -caroteno en el calostro ($p=0.56$). No obstante, al observar la media se puede notar que las vacas tratadas con β -caroteno enteral presentaron valores ligeramente superiores (Cuadro 9). Esto puede indicar que la aplicación de β -caroteno enteral permite una mayor secreción en la leche, brindando un mayor aporte de esta al ternero durante los primeros días, sobre todo al considerar los efectos que este compuesto tiene sobre el sistema inmune (Chawla y Kaur, 2004). Por lo tanto, se puede considerar que un efecto positivo sobre la concentración en el calostro podría generar una mejora en el porcentaje de supervivencia

de los terneros, teniendo menor incidencia de enfermedades y un menor uso de antibióticos durante la primera etapa de vida. Sin embargo, este estudio no evaluó esta variable.

Cuadro 9. Efecto del tratamiento preparto sobre el contenido de β -caroteno ($\mu\text{g}/100\text{ml}$) en el calostro del primer día.

Tratamiento	N	Media \pm DE	p
Sin suplemento de β -caroteno	12	253,86 ^a \pm 184,48	0.56
Con suplemento de β -caroteno enteral	6	302,37 ^a \pm 103,07	

Prueba de Tukey. Las letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

Las concentraciones de β -carotenos totales en plasma dependen principalmente de los cambios estacionales. Estas alteraciones afectan las plantas, influyendo directamente en la dieta de las vacas, lo cual puede generar problemas en la fisiología del animal. De igual forma, las concentraciones β -carotenos en la leche sufrieron variaciones significativas durante la producción; por lo que se puede considerar que la capacidad de filtrado de estos compuestos del plasma a la leche es regulada (Calderón et al., 2007). En este sentido, existe la posibilidad de que hubiese una regulación en la secreción láctea al administrar de manera enteral el β -caroteno sintético en las vacas, pues su concentración no generó cambios significativos en el calostro (Cuadro 9), a pesar de tener un consumo superior a 300 mg/día con niveles en sangre superior a los 300 $\mu\text{g}/\text{dl}$ (valor mínimo permitido).

Una alta dosis diaria de vitaminas sintéticas durante el periparto aumenta la concentración de α -tocoferol en el plasma sanguíneo cuando se ofrece el suplemento. Sin embargo, esto no tuvo ningún efecto sobre las concentraciones de vitaminas en la leche en aquellas vacas que ya tenían altas concentraciones de α -tocoferol y β -caroteno natural en la dieta basal (Lindqvist, 2012). En este estudio no se notó un incremento significativo en las concentraciones de β -caroteno en el calostro, posiblemente debido a que las vacas ya cubrían los requerimientos del compuesto con la dieta basal; razón por la cual el suplemento preparto no afectó de manera significativa su concentración en el calostro (Cuadro 9).

De igual forma, existen suplementos energéticos capaces de reducir las concentraciones de β -caroteno en la leche, como lo describió Vogdanou (2014). El autor demostró que la inclusión de semilla de canola aumenta la concentración de α -tocoferol en la leche, pero

reduce el contenido de β -caroteno. En este sentido, sería importante evaluar si una dieta con altos cascara de piña en vacas secas afectaría la concentración de β -caroteno en el calostro, debido al alto aporte energético de este subproducto.

Estudios realizados al sur de Suecia demostraron que la concentración de grasa en calostro se puede asociar a altas concentraciones de β -caroteno, por lo que las vacas mestizas de Jersey pudieran tener una mayor concentración de este compuesto. De igual forma, se observaron mejores concentraciones en las vacas Holstein Sueco y mestizo de Holstein al compararlas con las de raza Sueco Rojo (Torsein et al., 2018).

Conteo de Células somáticas

Durante el estudio se realizó el conteo de células somáticas, iniciando 7 días posterior al parto hasta los 120 días postparto, con una frecuencia semanal, alcanzando un total de 252 análisis. Al observar los resultados (Cuadro 10), durante los primeros 30 días postparto no existe una diferencia significativa entre los tratamientos; aunque las vacas tratadas con β -caroteno enteral presentaron en promedio un menor conteo de células somáticas. Esto puede deberse al efecto antioxidante del β -caroteno, descrito por Puppel et al. (2013), quienes sugieren que los radicales libres han estado implicados en el desarrollo de más de 100 enfermedades que afectan a todos los órganos principales.

En la segunda etapa (entre los 31 y 60 días) se observa que el grupo tratado con β -caroteno enteral presentó el menor valor ($p=0.03$). La suplementación de vitamina E sola, o combinada con β -caroteno, reduce la incidencia de mastitis clínica y subclínica (Chawla y Kaur, 2004). Sin embargo, en este estudio no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p=0.48$); se pudo notar que en la tercera etapa, el grupo Control y T1 presentaron conteos medios de células somáticas/ml similares, pudiendo explicarse por la aplicación única de β -caroteno.

En la última etapa del estudio (91 a 120 días postparto), se nota que los animales del T2 presentaron un menor conteo de células somáticas ($p=0.03$). Aunque el grupo Control presentó una similitud estadística con los otros tratamientos, fue el T1 el que presentó un valor mayor (estadísticamente significativo) (Cuadro 10).

Los valores promedio inferiores presentados por el T2 pudieron deberse al efecto que tiene el β -caroteno sobre el sistema inmune, mejorando así la respuesta inmunitaria de la ubre durante el período postparto. De igual forma, se puede notar que las vacas de los otros dos tratamientos presentaron conteos menos uniformes, y la administración de β -caroteno parenteral en el postparto no generó una aparente mejora en la salud de la ubre, puesto que las medias de células somáticas/ml no presentaron una reducción aparente luego de la aplicación 30 días postparto. En este sentido, Oliveira et al. (2015) observaron que la suplementación de 400 g/d de β -caroteno genera una pobre respuesta en el conteo de células somáticas superiores a 200000 cél/ml en aquellas vacas multíparas suplementadas; sugiriendo que el β -caroteno puede tener un papel en las enfermedades relacionadas con la inmunidad y la fertilidad en las vacas lecheras. En este estudio no se observaron diferencias significativas regulares durante toda la investigación; las divergencias en la reproducción pudieron verse afectadas por las pocas repeticiones realizadas.

Cuadro 10. Efecto de la suplementación de β -caroteno sobre las concentraciones de células somáticas (cél/ml) en la leche durante el postparto.

Etapa	Tratamiento	Media + DE	p
I Parto a 30 días pp	Control	2,178.000 ^a ± 90765834	0.58
	β -caroteno parenteral	2,011.333 ^a ± 2503438	
	β -caroteno enteral	542.600 ^a ± 833795	
II 31 a 60 días pp	Control	2,134.909 ^b ± 3.889.918	0.03
	β -caroteno parenteral	1,226.000 ^{ab} ± 1.662.411	
	β -caroteno enteral	303.500 ^a ± 602.707	
III 61 a 90 días pp	Control	1,252.166, 7 ^a ± 1.833.352	0.48
	β -caroteno parenteral	1,628.090,9 ^a ± 2.007.367	
	β -caroteno enteral	878,333.3 ^a ± 1.655.363	
IV 91 a 120 días pp	Control	1,311.056 ^{ab} ± 3.450.757	0.03
	β -caroteno parenteral	2,353.150 ^b ± 2.742.075	
	β -caroteno enteral	403.760 ^a ± 963.825	

Prueba de Tukey. Las letras distintas indican diferencias entre los tratamientos.

*pp= postparto

Análisis Económico

Según estudios previos, las pérdidas por días abiertos a partir del día 90 promedian un valor de 4,97 litros de leche/día abierto; esto representaría una pérdida diaria de \$2,58 (dólares USA) al valor actual. Sin embargo, este valor se puede ver incrementado en la 4ta y 5ta lactancia, las cuales presentan una mayor producción láctea. Dichos valores se basaron en las curvas de producción de leche, la cual va decreciendo con el pasar de los meses y al extenderse el periodo seco se posterga el siguiente pico de producción (Carazo, 1984). Otros estudios concluyen que al prolongar el periodo vacío de la vaca se reduce la producción de por vida, generando a la vez una menor presión de selección por bajo número de animales de remplazo (Monge, 1979).

El tratamiento con β -caroteno enteral representó un costo de \$54/vaca tratada, muy superior a los costos de \$1,5/vaca en el tratamiento con β -caroteno parenteral. Si se considera la reducción en el conteo de células somáticas obtenido en el grupo tratado con β -caroteno enteral, representaría un ingreso extra de \$0,02 extra/kg de leche producida; pudiendo cubrir los gastos de tratamiento con una producción de 2.700 litros con menor conteo de células somáticas. Esto lo puede generar una vaca en los primeros 90 días de producción, tomando en cuenta un promedio de 29 litros/día durante este periodo (Cuadro 11).

Cuadro 11: Comparación económica del costo por tratamiento de β -caroteno enteral y β -caroteno parenteral expresado en dólares/vaca.

Producto	Costo/Dosis	Días de tratamiento/Vaca	Inversión/animal
β -Caroteno parenteral	\$1,50	1	\$1,50
β -Caroteno enteral	\$0,36	150	\$54

Conclusiones y recomendaciones

El suministro de β -caroteno enteral fue capaz de producir cambios significativos en las concentraciones sanguíneas de progesterona y de β -caroteno en la sangre, en comparación con los tratamientos del β -caroteno parenteral y Control. No hubo efectos significativos sobre el tamaño de los cuerpos lúteos, cuernos uterinos ni la tasa de preñez. Considerando que el número de repeticiones fue muy bajos para poder observar un posible cambio

significativo en los parámetros reproductivos, se recomienda asegurar un mayor número de repeticiones en condiciones tropicales por cada tratamiento, al evaluar la respuesta reproductiva del uso de los aditivos utilizados en la presente investigación.

Sin embargo, esto dependerá mucho de las condiciones de cada explotación, por lo que es mejor evaluar si en cada caso este es capaz de expresar sus beneficios y resulta económicamente viable. Como lo mencionan otros autores, la administración de β -caroteno es efectiva únicamente cuando no se cubren los requerimientos de vitamina A.

A pesar de que la administración enteral de β -caroteno no fue capaz de reducir de forma significativa el conteo de células somáticas en la leche, es recomendable repetir en próximos estudios esta evaluación con un mayor número de animales. Se debe separar cada evaluación por cuarto, pues sí se pudo notar un valor promedio menor de conteos de células somáticas durante todo el estudio y esto puede representar un mayor ingreso para el productor.

Literatura Consultada

- Aguiar, E. y A. Rojas 2015. Variaciones de β caroteno en sangre de vacas lecheras durante el periodo postparto. *Nutrición Animal Tropical*, 9 (2): 91-104
- Akar, Y. y A. Gazioglu. 2006. Relación entre los niveles de vitamina A y β caroteno durante el período posparto y los parámetros de fertilidad en vacas con y sin retención de placenta. *Bull Veterinary Institute Pullawy*, 50: 93-96.
- Akordor F., J. Stone, J. Walton, K. Leslie y J. Buchanan-Smith. 1986. Rendimiento reproductivo de vacas Holstein lactantes alimentadas con suplementación de betacaroteno (inglés). *Journal of Dairy Science*, 69: 2173-2178.
- Antoszkiewicz Z., M. Fijałkowska, M. Mazur-Kuśnirek, S. Przemieniecki y C. Purwin. 2018. Efecto de la fecha de cosecha y altura de corte y ensilaje en las concentraciones de carotenoides y tocoferoles en Virginia Fanpetals (*Sida hermaphrodita*). *Journal of Elementology*, 24 (4): 1195-1202.

- AOAC (Association of Official Agricultural Chemists). 2005. Métodos Oficiales de Análisis. 18th editions. Ed. AOAC International, Virginia, EE.UU. pp 28-30.
- Arikan, Ş. y R. Rodway. 2001. Variación estacional de las concentraciones lúteas bovinas de β -caroteno. Turk Journal Veterinary Animals Science, 25: 165-168.
- Bendich, A. y J. Olson. 1989. Acciones biológicas de los carotenoides. The FASEB Journal, 3: 1927-1932.
- Calderón, F., B. Chauveau-Duriot, B. Martin, B. Graulet, M. Doreau y P. Nozière. 2007. Variaciones en los carotenoides, las vitaminas A, E, el color del plasma y la leche de la vaca durante la última etapa de gestación y los primeros tres meses de lactancia. Journal of Dairy Science, 90: 2335–2346.
- Carazo, X. 1984. Análisis de las pérdidas de producción de leche por influencia de periodos abiertos mayores a 90 días. Tesis Lic. San José, Costa Rica, UCR, Facultad de Agronomía, pp: 22-31
- Chawla, R. y H. Kaur. 2004. Estado de vitamina antioxidante en plasma de vacas en período de parto suplementadas con α tocoferol y β caroteno. Animal Feed Science and Technology, 114: 279-285.
- Goto, K., O. Kajisa, K. Ezo, Y. Nakanishi, K. Ogawa, M. Tasaki, H. Ohta, S. Inohae, S. Tateyama y T. Kawabata. 1989. Relación entre la concentración plasmática de betacaroteno y la calidad del embrión en ganado negro japonés superovulado. Memoirs of the Faculty of Agriculture Kagoshima University, 25:113-117.
- Grajales, H., A. Hernández y E. Prieto. 2010. Niveles de progesterona durante el ciclo normal y silencioso en bovinos en el trópico colombiano. Revista MVZ Cordoba, 15: 2.
- Grave-Hoagland, R., T. Hoagland y C. Woody. 1988. Efectos del β -caroteno y la vitamina A sobre la producción de progesterona, por las células lúteas bovinas. Journal of Dairy Science, 71: 1058-1062.

Iwańska, S. y D. Strusińska. 1997. El efecto del betacaroteno y las vitaminas A, D3 y E sobre algunos parámetros reproductivos en vacas. *Acta Veterinaria Hungarica*, 45: 95-107.

Johnston, L. y B. Chew. 1984. Cambios durante el parto en plasma, vitamina A y betacaroteno en leche de vacas con o sin mastitis. *Journal of Dairy Science*, 67: 1832-1840.

Jukola, E., J. Hakkarainen, H. Saloniemi y S. Sankari. 1996. Concentraciones de selenio, vitamina E, vitamina A y β -caroteno en sangre y salud de la ubre, tratamientos de fertilidad y fertilidad. *Journal of Dairy Science*, 79: 838-845.

Kaewlamun, W., M. Okouyi, P. Humblot, M. Techakumphu y A. Ponter. 2011. ¿La suplementación de las vacas lecheras con β -caroteno durante el período seco afecta la actividad ovárica posparto, la progesterona y la involución cervical y uterina? *Theriogenology*, 75: 1029-1038

Kaewlamun, W., M. Okouyi, P. Humblot, D. Remy, M. Techakumphu, C. Duvaux-Ponter y A. Ponter. 2012. Efectos de un suplemento dietético de β -caroteno administrado durante el período seco sobre la producción de leche, las hormonas y metabolitos circulantes en las vacas lecheras. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 163 (5): 235-241.

Kalač, P. 2013. Revisión de: Carotenoides, ergosterol y tocoferoles en hierbas frescas y en conserva y su transferencia a la grasa y los tejidos adiposos de la leche bovina. *Journal of Agrobiology*, 29 (1):1-13.

Kawashima, C., K. Kida, F. Schweigert y A. Iyamoto. 2009. Relación entre las concentraciones plasmáticas de β -caroteno durante el período parto y la ovulación en la primera onda folicular posparto en vacas lecheras. *Animal Reproduction Science*, 111: 105-111.

Keating E., W. Hale y F. Hubbert. 1964. Degradación in vitro de vitamina A y caroteno por licor ruminal. *Animal Science*, 25:111-117.

- Lindqvist, H. 2012. α -tocoferol y β -caroteno en forrajes y su utilización por las vacas lecheras en la producción orgánica. Ph.D. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences.
- McDowell, L. 2000. Vitaminas en la nutrición animal y humana. Segunda edición, Ames: Iowa State University Press, Iowa, Estados Unidos.
- Michael, J., L. Heirman, T. Wong, B. Chew, M. Frigg y L. Volker. 1994. Efectos moduladores del β -caroteno en la dieta sobre la función de los leucocitos mamarios y sanguíneos en vacas lecheras en periparto. *Journal of Dairy Science*, 77:1408-1421
- Monge, J. 1979. Efecto del periodo abierto sobre la producción de leche. Tesis Lic. San José, Costa Rica, UCR, Facultad de Agronomía, 70 pp.
- Oliveira, R., B. Guerreiro, N. Morais Junior, R. Araujo, R. Pereira y M. Pereira. 2015. Suplementación de la vaca lechera preparto con b caroteno. *Journal of Dairy Science*, 98: 6304–6314
- Puppel, K., T. Nałęcz-Tarwacka, B. Kuczyńska, M. Gołębiowski y M. Kordyasz. 2013. Efecto de diferentes suplementos grasas sobre la capacidad antioxidante de la leche de vaca. *Archiv für Tierzucht*, 56 (17): 178-190
- Quesada, M. R. 2007. Los Bosques de Costa Rica. IX Congreso Nacional de Ciencias. Los Bosques de Costa Rica.
- Quintela, L., C. Díaz, J. Becerra, G. Alonso, S. Gracia y P. Herradón. 2008. Papel del β caroteno y la vitamina A en la reproducción en el ganado vacuno: revisión *Información Técnica Económica Agraria*. 104 (3): 399-410.
- Rakes, A., P. Owens., J. Britt y L. Whitlow. 1985. Effects of adding beta-carotene to the rations of lactating cows consuming different forages. *Journal of Dairy Science*, 68: 1732-1737.

- Searles, S. y J. Armstrong. 1970. Contenido de vitamina E, vitamina A y caroteno de la mantequilla de Alberta. *Journal of Dairy Science*, 53: 150-154.
- Shaw, D., P. Farin, S. Washburn y J. Britt. 1995. Efecto del palmitato de retinol sobre la tasa de ovulación y la calidad del embrión en bovinos superovulados. *Theriogenology*, 44: 51-58.
- Torsein, M., A. Lindberg, C. Svensson, S. Krogh Jensen, C. Berg y K. Persson Waller. 2018. Concentraciones de α -tocoferol y β -caroteno en pienso, calostro, suero de vaca y ternero en hatos lecheros suecos con alta o baja mortalidad de terneros. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 60:7.
- Trojačanec S., S. Boboš y M. Pajić. 2012. Influencia de la suplementación con β -caroteno y vitamina A en la actividad ovárica de vacas lecheras con deterioro crónico de la fertilidad. *Veterinarski Arhiv*, 82 (6): 567-575.
- Van Soest, P. J. 1982. *Ecología nutricional del rumiante*. Segunda edición, Cornell University Press, Nueva York, Estados Unidos. p. 260-263.
- Vogdanou, S. 2014. Composición de la leche afectada por la alimentación con ensilaje de pasto de las vacas Jersey de diferentes épocas de cosecha con o sin suplementación de colza. M.Sc. Tesis, Universidad de Aarhus.
- Weiss, W. 1998. Requisitos de vitaminas liposolubles para vacas lecheras. *Journal of Dairy Science*, 81: 2493-2501.