

Efecto de la suplementación de vitaminas, minerales y aminoácidos en el retorno al celo de vacas Holstein en Cotopaxi, Ecuador

Nota técnica

Effect of vitamins, minerals and amino acids supplementation on the return to heat of Holstein cows in Cotopaxi, Ecuador

Technical note

Rafael Alfonso Garzón-Jarrín¹ , Luis Alonso Chicaiza-Sánchez¹ , Patricia Marcela Andrade-Aulestia¹ , Blanca Jeaneth Villavicencio-Villavicencio² , Juan Ramón García-Díaz^{3*} 

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Latacunga, Ecuador.

²Universidad Técnica de Ambato, Facultad en Ciencias Agropecuarias, Carrera Medicina Veterinaria. Cevallos, Ecuador.

³Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamento de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Santa Clara, Cuba.

*Autor para correspondencia: juanramon@uclv.edu.cu

RESUMEN

Con el objeto de determinar el efecto de la suplementación con vitaminas, minerales y aminoácidos por vía parenteral durante el período de transición gestación-lactancia sobre el retorno al celo posparto de las vacas Holstein en Cotopaxi, Ecuador, se desarrolló esta investigación entre agosto 2021 y julio 2022. Se seleccionaron 30 vacas Holstein, donde se determinó el retorno al celo 60 días posparto (DPP) y se calculó el costo de oportunidad. Se compararon los porcentajes de vacas que retornaron al celo antes de 60 DPP mediante la prueba de χ^2 . Se determinó el riesgo relativo con la prueba χ^2 y se determinaron la fracción prevenida en expuestos y poblacional (FPE, FPP), la reducción relativa y absoluta del riesgo (RRR y RAR) y número necesario de vacas a suplementar (NNT) para reducir un caso de no retorno al celo. El porcentaje de hembras que retornaron al celo fue superior ($P < 0,008$) en las tratadas que en los controles. La suplementación constituyó un factor de protección significativo para el no retorno al celo dentro de los 60 DPP [RR 0,46 ($\chi^2 = 7,03$, $P < 0,008$)], La FPE y FPP fueron 53 y 23%, respectivamente. La RRR, la RAR y el NNT fueron 54%, 7% y 14,28, respectivamente. El costo de oportunidad fue 868,50 \$ USD. Se concluye que la suplementación aumentó significativamente el porcentaje de animales que retornaron al celo dentro de los 60 DPP, y fue un factor de riesgo protector para el no retorno al celo en este periodo; generando un beneficio económico.

Palabras clave: Suplementación; minerales; periodo de transición; riesgo relativo; retorno al celo

ABSTRACT

In order to determine the effect of parenteral supplementation of vitamins, minerals and amino acids, during the gestation-lactation transition period, on the return to postpartum heat of Holstein cows in Cotopaxi, Ecuador, this research was carried out between August 2021 and July 2022. 30 Holstein cows were selected. The return to heat was determined 60 days postpartum (DPP) and the opportunity cost was calculated. The percentages of cows that returned to heat before 60 DPP were compared using the χ^2 test. The relative risk was determined with the χ^2 test and the fraction prevented in exposed and population (FPE, FPP), the relative and absolute reduction in risk (RRR and RAR) and the necessary number of cows to supplement (NNT) to reduce a case of non-return to heat were determined. The percentage of females that returned to heat was higher ($P < 0.008$) in the treated group than in the controls. Supplementation constituted a significant protective factor for non-return to heat within 60 DPP [RR 0.46 ($\chi^2 = 7.03$, $P < 0.008$)], FPE and FPP were 53 and 23%, respectively. The RRR, the RAR and NNT were 54%, 7% and 14.28, respectively. The opportunity cost was \$868.50 USD. It was concluded that supplementation significantly increased the percentage of animals that returned to heat within 60 DPP, and was a protective risk factor for non-return to heat in this period; generating an economic benefit.

Key words: Supplementation; minerals; transition period; relative risk; return to heat

INTRODUCCIÓN

En Ecuador se reportaron en 2022 815.065 vacas en ordeño con una producción láctea de 5.502.787 L, de los cuales el 79,5 % correspondió a la Sierra (4,4 millones de litros). Mientras, la provincia de Cotopaxi ocupó el segundo lugar en esta nación en cantidad de bovinos, con 290.184 animales predominantemente de la raza Holstein y contabilizó 62.205 vacas en ordeño, lo cual representó el 8 % del total nacional, con una producción promedio de 8 L·vaca⁻¹·día⁻¹, que representan más de 497.640.000 L diarios. Sin embargo, dado su desconocimiento en esta estadística no se incluyó los datos de la producción láctea artesanal y su comercialización [1].

En la sierra ecuatoriana existen pobres indicadores e inestabilidad en la duración de la lactancia. En la provincia Cotopaxi la natalidad oscila entre 48 y 63 %, el intervalo entre partos supera los 500 días (d) y las lactancias promedios duran entre 232 a 240 d. En la hacienda “San Antonio”, ubicada en esta jurisdicción las vacas retornan al celo entre los 90 y 105 d, con una pérdida económica significativa [2].

Para alcanzar la máxima eficiencia reproductiva y productiva de las vacas es imprescindible que estas reinicien la actividad ovárica posparto y retornen al celo dentro de los 60 d después del parto; el cual se puede inducir suplementando protocolos multivitamínicos, minerales y de aminoácidos, cuyas deficiencias están entre los factores limitantes de eficiencia reproductiva de la ganadería bovina en sierra ecuatoriana, donde provocan anestros y días abiertos prolongados, entre otras [3].

Para beneficiar el comportamiento reproductivo de estos rebaños se necesita la suplementación de minerales, vitaminas y aminoácidos, especialmente si esta se hace dentro del período de transición gestación-lactancia (PTG-L), que se enmarca desde las tres semanas previas al parto y las tres posteriores al mismo [4]. En este momento la suplementación intramuscular del Cu [5] y de Cu, Zn y Mn [6] beneficiaron el comportamiento reproductivo de las vacas.

En rebaños de Ecuador, la suplementación de energético-mineral por vía parenteral en vacas dentro del PTG-L mejoró el comportamiento reproductivo de los rebaños lecheros [3]. Sin embargo, aunque los minerales, vitaminas y aminoácidos cumplen importantes funciones y favorecen el comportamiento reproductivo posparto, no se ha evaluado el efecto de su suplementación combinada durante el PTG-L de las vacas lecheras.

Este experimento tuvo como objetivo evaluar el efecto de la suplementación parenteral de minerales, vitaminas y aminoácidos, durante en el PTG-L, en el retorno al celo posparto de vacas Holstein se Cotopaxi, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

Escenario de la investigación

El experimento se llevó a cabo entre agosto 2021 y julio 2022, en la hacienda “San Antonio”, situada entre los 0,98°96'77" Latitud Norte y 78°67'18" de Longitud Oeste, a una altura de 2.850 a 3.700 m.s.n.m; en el cantón Latacunga, provincia Cotopaxi, Ecuador.

El área de estudio posee un clima templado y frío, con temperaturas que oscilan entre 6 y 11°C promedio y con valores mínimos y máximos de 2 y 15°C, respectivamente. El promedio anual de precipitaciones oscila entre 1.000 a 1.250 mm, de octubre a abril, coincidiendo con el periodo lluvioso y entre 700 - 850 mm, de mayo a septiembre, durante el periodo poco lluvioso [7].

La zona de estudio tiene suelo Andisol, con 70 cm de profundidad efectiva [8]. Su relieve presenta ondulaciones con un porcentaje de pendiente que oscila entre 12 y 25 % [9].

Condiciones de manejo y alimentación

En el rebaño estudiado se utilizó el pastoreo racionado, utilizando para ello la cerca eléctrica, con 2,5 unidades de ganado mayor por hectáreas (UGM·ha⁻¹) como carga global. Los animales pastoreaban 18 horas (h) diarias, en pastos mejorados *Lolium perenne* L. *Trifolium repens* L. y naturalizados, *Pennisetum clandestinum* L. y *Cichorium intybus* L. y tuvieron una oferta a voluntad de 150 g·animal⁻¹ de Calfosal (multisalmin SA, Ecuador). Se utilizó el ordeño manual dos veces al día, de 02:00 a 04:00 am y de 14:00 a 16:00 horas.

Animales

Se seleccionaron 30 vacas Holstein (*Bos taurus*) con peso vivo de 410 ± 5 kg, condición corporal (CC) mayor o igual a 3,5, en escala de cinco puntos, determinada por los procedimientos descritos por French y cols. [10]. Las hembras tenían 255 ± 3 d de gestación, tres o cuatro partos, el último de ellos eutócico, entre 4 y 8 años de edad, y tercera y cuarta lactancia, con producción láctea de 15 ± 1 L·d⁻¹ y una duración de las lactancias de 270 ± 5 d.

Las vacas seleccionadas estaban clínicamente sanas según el diagnóstico realizado, aplicando el método clínico [11]. A todas las hembras se les realizó el examen ginecológico según los procedimientos descritos por Brito y cols. [12], y se desparasitaron y vacunaron según cronograma del área.

Diseño del estudio

De manera aleatoria se conformaron dos grupos, el tratado y el control, cada uno compuesto por 15 animales. Las vacas tratadas recibieron una suplementación parenteral de minerales vitaminas y aminoácidos al momento de la selección, la que se repitió a las 12 horas y a los 30 d posparto (DPP) (TABLA I); en los que se enmarca el PTG-L de la vaca lechera [4].

La composición de los suplementos se expone en la TABLA II. La misma incluye componentes cuyas máximas demandas de las vacas lecheras son durante el PTG-L [4].

En todos los animales se determinó el retorno al celo entre los 45 y 60 DPP, considerándose como tal la aparición de los signos del síndrome estral dentro de ese periodo de tiempo, en el cual deben retornar al celo las vacas, en condiciones óptimas [12].

Metodologías de trabajo

La detección del celo se realizó entre las 5:00 y las 9:00 y entre las 15:00 y las 19:00 p.m, por un obrero capacitado, que se auxilió

TABLA I
Protocolo de suplementación de los minerales, vitaminas y aminoácidos de vacas Holstein en Cotopaxi, Ecuador

Momentos	Grupos	
	Tratado	Control
255 ± 3 días de gestación	Pasto y minerales por vía oral a voluntad. Vitasel (Laboratorios Servinsumos S.A, Colombia): 1 mL·20 Kg ⁻¹ de PV, vía IM CrecEduor®: 10 mL, vía SC	
12 horas posparto	Pasto y minerales por vía oral a voluntad. Fortimax ATP (Laboratorios Servinsumos S.A, Colombia): 25 ml, vía IM	Pasto y minerales a voluntad
30 días posparto	Pasto y minerales por vía oral a voluntad Vitasel (Laboratorios Servinsumos S.A, Colombia): 1 mL·20 Kg ⁻¹ de PV, vía IM CrecEduor®: 10 mL, vía SC.	

TABLA II
Composición de suplementos empleados en la suplementación de los minerales, vitaminas y aminoácidos de vacas Holstein en Cotopaxi, Ecuador

Producto 1. Cada mL contiene:	Producto 2. Cada 100 mL contiene:
Fosforilcolamina: 130 mg (Equivalente a 28 mg de fósforo)	Vitamina E: 9000 U.I
Sulfato de zinc: 15 mg (Equivalente a 6 mg de zinc)	Vitamina D: 200000 U.I
Yoduro de potasio: 20 mg (Equivalente a 15 mg de yodo)	Vitamina B12: 5000 mcg
Selenito de sodio: 0,3 mg (Equivalente a 0,1 mg de selenio)	Clorhidrato de L-lisina: 1000 mg
	Glicina: 420 mg
	DL-Metionina: 210 mg
	L-Leucina: 210 mg
	Clorhidrato de L-Histidina: 210 mg
	L-Triptofano: 210 mg
	L-Valina: 200 mg
Fortimax ATP Cada 100 mL contiene:	Clorhidrato de L-Arginina: 200 mg
Adenosín trifosfato: 100 mg	Sulfato de cobre: 2 mg (Cobre: 0,509 mg)
Vitamina E acetato: 3500 UI	Yoduro de potasio: 15 mg
Aspartato de magnesio: 150 mg	Cloruro de zinc: 10 mg (Zinc: 4,797 mg)
Vitamina B12: 2mg	Cloruro de sodio: 42 mg
Selenito de sodio: 100 mg	Hipofosfito de calcio: 1500 mg (Calcio: 353,55 mg)
Aspartato de potasio: 1000 mg	Cloruro de magnesio: 210 mg (Magnesio: 25,116 mg)
	Monoglutamato sódico: 0,49 mg

con la utilización de pintura en la base de la cola de las vacas. La evaluación económica se hizo mediante el cálculo del costo de oportunidad, según Van Eenennaam y cols. [13]; ajustado a las circunstancias de este experimento. Bajo el principio anterior, para su cálculo se asumió que las vacas que retornaron al celo, o no; tratadas y controles, tuvieron 15 d vacíos descontando los 45 d del periodo de espera voluntario.

Análisis estadístico

Para comparar los porcentajes de vacas que presentaron celo antes de los 60 DPP (DPP) se utilizó la prueba de χ^2 de Pearson con el programa estadístico IBM SPSS Statistics ver. 20 [14].

Se determinó el riesgo relativo (RR) de la incidencia del no retorno al celo dentro de los 60 DPP en las vacas suplementadas con minerales, vitaminas y aminoácidos en el PTG-L mediante un estudio prospectivo (cohorte), para un nivel de confianza del 95%. Para estos procedimientos se conformaron tablas de contingencia 2 x 2, se aplicó la prueba χ^2 , y se determinaron las medidas de asociación [RR, fracción prevenida en expuestos (FPE) y fracción prevenida poblacional (FPP)] mediante el paquete estadístico Epidat 3.1. [15].

Según las recomendaciones de Badii y cols. [16], se determinaron las medidas de impacto [reducción relativa del riesgo (RRR), reducción absoluta del riesgo (RAR) y número necesario de vacas a suplementar (NNT) para reducir un caso de no retorno al celo, según las siguientes fórmulas:

- $RRR=(1-RR)\times 100$
- $RAR=(IO-Ie)\times 100$; donde IO es la incidencia en no expuestos, e Ie es la incidencia en expuestos.
- $NNT= 1/RAR$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 30 vacas involucradas en el estudio, 11 retornaron al celo antes de los 60 DPP; sin embargo, en las hembras tratadas el porcentaje fue superior ($P<0,008$) que, en las utilizadas como controles, 60 y 13,33 %, respectivamente (FIG. 1). De las 11 que tuvieron celo antes de los 60 d de paridas, nueve fueron de las hembras suplementadas, el 81,81 %.

Los resultados confirman la importancia de los protocolos integrados para la suplementación vitamínico-mineral y aminoacídica en hembras bovinas lecheras en el PTG-L; éstos garantizan una suplementación más completa y consecuentemente, con resultados superiores a cuando se suplementan por separados.

Los resultados de esta investigación corroboran los efectos beneficiosos de la administración inyectable de las fuentes

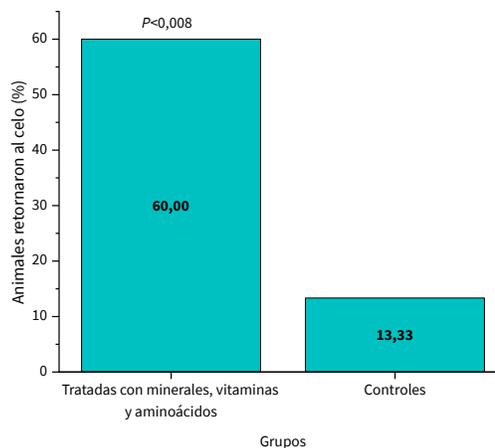


FIGURA 1. Porcentaje de vacas Holstein suplementadas por vía parenteral con vitaminas, minerales y aminoácidos en Cotopaxi, Ecuador que presentaron celos antes de los 60 días posparto

orgánicas de Cu, Zn, Mn y Co en el desempeño reproductivo posparto de las hembras bovinas lecheras [17] y los beneficios de la administración de (P, Cu, Zn, Mn, Co, Se, I y Cr) en y la eficiencia reproductiva de las vacas [18]. En estudios desarrollados en Cuba, la administración parenteral de Cu y Zn en el PTG-L de la vaca lechera provocó el pico de cupremia y cinquemia a partir de los cinco y 15 d, respectivamente. Aunque ambas se hicieron deficientes a los 60 d, favorecieron el comportamiento reproductivo de las hembras bovinas [5, 6]. También beneficiaron el comportamiento reproductivo otros suplementos minerales, administrados con distintos protocolos [5].

En sistemas de producción bovina de Ecuador, las vacas presentan deficiencias de Ca, P, Mg, Cu y Zn, asociadas a su pobre comportamiento reproductivo; el que mejora cuando esos minerales se suplementan durante el PTG-L [19]. En Cuba, la hipocupremia e hipocinquemia constituyeron factores de riesgo para el anestro posparto [20, 21].

La suplementación mineral por vía oral tiene muchos inconvenientes, debido a las relaciones antagonicas entre los macro y microelementos que se ofertan [22]. Los minerales se suplementan por vía parenteral pues evitan los efectos antagonicos entre ellos, que interfieren su absorción y metabolismo [5, 23, 24].

La suplementación de minerales con protocolos que combinan las vías oral y parenteral constituye la estrategia más eficiente durante el PTG-L de la hembra bovina lechera. Con la misma se benefició el comportamiento reproductivo de las vacas [3].

Aunque el porcentaje que presentó celos dentro de los primeros 60 DPP difirió ($P=0,008$), entre las vacas tratadas y las controles; la diferencia estadística en términos del valor de P , no ofrece el verdadero impacto de un factor de exposición y además, su resultado no siempre se logra trasladar a la práctica. Por esta razón ejecutan los estudios analíticos observacionales, que son de gran utilidad para conocer la magnitud real del impacto provocado por un factor al que se expongan los animales [16]. En la FIG. 2 se puede observar que la suplementación de minerales, vitaminas y aminoácidos durante PTG-L protegió significativamente a las vacas de la presentación del no retorno al celo dentro de los 60 DPP [RR 0,46; IC95 % 0,34-0,88, ($\chi^2= 7,03, P<0,008$).

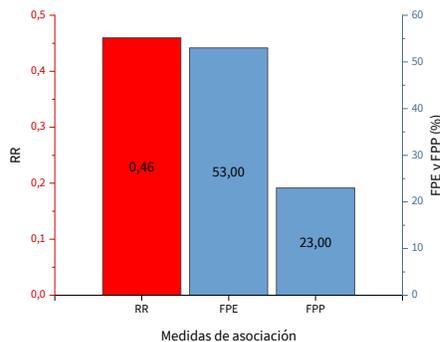


FIGURA 2. RR, FPE y FPP para la presentación de celos antes de los 60 DPP en vacas suplementadas con minerales, vitaminas y aminoácidos ($P<0,008$). Leyenda: RR: Riesgo relativo. FPE: Fracción prevenida en expuestos. FPP: Fracción prevenida en la población

La fracción prevenida en expuestos (FPE) fue 53 % y la fracción prevenida en la población (FPP) fue 23 % (FIG. 2) e indican el porcentaje de casos de no retorno al celo dentro de los primeros 60 DPP en los animales que se suplementen con minerales, vitaminas y aminoácidos y dentro de la población total, respectivamente.

Las medidas de impacto de la suplementación de minerales, vitaminas y aminoácidos se exponen en la FIG.3. Nótese que la reducción relativa del riesgo (RRR), que es el complemento del RR, fue 54 % e indica el riesgo de no retorno al celo dentro de los 60 DPP en las vacas suplementadas, relativo al que ocurrió en las utilizadas como controles.

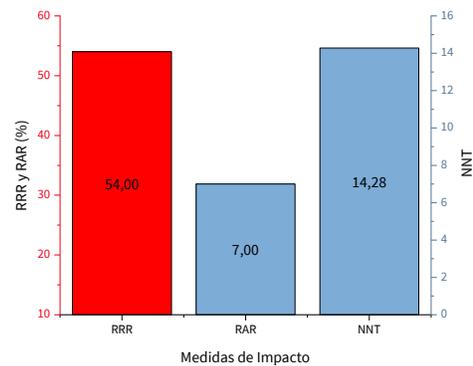


FIGURA 3. Medidas de impacto (RRR, RAR y NNT) de la suplementación de minerales, vitaminas y aminoácidos para reducir el no retorno al celo dentro de los 60 días posparto Leyenda: RRR: Reducción relativa del riesgo. RAR Reducción absoluta del riesgo. NNT: Número necesario a tratar

La RAR observada fue del 7 %, lo que indica el porcentaje de casos no retorno al celo dentro de los 60 DPP que es posible reducir en la población investigada, con el protocolo de suplementación de minerales, vitaminas y aminoácidos utilizado en este experimento. De la RAR se calcula el NNT que indica que por cada 14,28 vacas que se suplementen el ese protocolo se reduce un caso de no retorno a celo dentro de los 60 DPP.

Dado que los suplementos empleados incluyen una gran cantidad de componentes, todos importantes; de los suplementados se enfatizará en los mecanismos de los que, a criterios de los autores, tienen el mayor peso en la respuesta que se obtuvo.

En la hembra bovina la hipocalcemia provoca partos distócicos, retención de placenta, reinició tardío de la actividad ovárica y bajos por cientos de gestaciones y las deficiencias de P y Mg en suero sanguíneo provocan la ausencia de celos posparto y cuando se presentan cursan sin manifestaciones externas. Consecuentemente, la suplementación de estos tres macroelementos favorece el retorno al estro de las vacas dentro de los 60 DPP [21].

En una investigación desarrollada en la región de Los Andes ecuatorianos, las vacas con reinicio temprano de la actividad ovárica posparto, tuvieron mayores ($P<0,05$) fosforemia, cupremia y cinquemia, que aquellas que tuvieron un reinicio tardío [25]. La hipocupremia, e hipocinquemia aumentan el riesgo de que las

vacas presenten no retorno al celo dentro de los 60 DPP y alarguen el anestro posparto por periodos de tiempo mayores [21, 22].

El estrés oxidativo se incrementa en el ovario, en las deficiencias de Cu y Zn. Ello disminuye el crecimiento folicular y la secreción de estrógeno, provocan daños en el ovocito y reduce la síntesis y secreción de LH, y de progesterona. Consecuentemente provoca anestro, mortalidad embrionaria precoz y repetición de servicios de inseminación artificial [26].

Los animales hipocinémicos (menos de $12,62 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) tienen un anestro posparto más prolongado que los que tienen cinquemias normales [22]. Además, estos autores demostraron hipocinemia constituyó un riesgo ($P < 0,0001$) para este trastorno reproductivo.

La hipofosforemia, hipocupreia e hipocinemia, favorecen el balance energético negativo y éste provoca alteraciones funcionales del eje neuroendocrino. Consecuentemente, se afectan la amplitud y frecuencia de los pulsos de GnRH, disminuyen la FSH, la amplitud, frecuencia y pico pre ovulatorio de LH que, además, tiene ondas atípicas, por lo que no se producirán la ovulación y formación del cuerpo lúteo. Si éste se forma, tendrá poco desarrollo y vida limitada con insuficiente producción de progesterona, que no hará adecuada retroalimentación negativa y por tanto, habrá bloqueo de GnRH y del ciclo estral, por déficit de FSH y LH [18, 27, 28].

Aunque minerales, vitaminas y aminoácidos no hacen aporte de energía, es muy importante cubrir sus requerimientos en la dieta, o suplementarlos, especialmente en el PTG-L pues se necesitan para la utilización y síntesis biológica de la energía y la proteína, para la síntesis láctea, el metabolismo y mantener la salud adecuada del ganado bovino [29].

El cálculo del costo de oportunidad consideró que cada día abierto de una vaca es el mismo tiempo de producción láctea que se desaprovecha, que significan $15 \text{ L}\cdot\text{vaca}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ en los rebaños de esta investigación, que actualmente se comercia a \$ 0,48 USD, que totalizan \$ 7,20 USD dejados de ingresar por la venta de leche.

Además, en los 15 d que excedieron el periodo de espera voluntario, 6 vacas en las tratadas y 13 en las utilizadas como controles no retornaron al celo y por tanto, no se inseminaron. Si se hubiesen inseminado, con 60 % de gestación al primer servicio serían 3,6 y 7,8 terneros dejados de producir en cada grupo. Los terneros se venden a 25,00 USD por lo que las pérdidas por este concepto serían 82,50 y 195 USD, en tratadas y controles, respectivamente.

Por las razones expuestas, la no suplementación con minerales, vitaminas y aminoácidos durante el PTG-L aumentó incrementó a 868,50 USD dejados de ingresar diariamente por vaca (costo de oportunidad) por el no retorno al celo durante los 60 DPP (TABLA III).

El costo de oportunidad no es absoluto, pero es similar a una segunda mejor posibilidad de ingresos que no se disfruta. En el caso de esta investigación, cuando las posibilidades de la variante A “no suplementar minerales, vitaminas y aminoácidos durante el PTG-L” excluye la elección de una mejor B (suplementarlos), se pueden considerar los beneficios no aprovechados derivados de B como costo de oportunidad [13].

TABLA III
Costo de oportunidad de la suplementación parenteral de minerales, vitaminas y aminoácidos durante el PTG-L de las vacas Holstein en Cotopaxi, Ecuador

Indicador	Grupos		Diferencia
	Tratadas	Controles	
Vacas por grupo	15	15	—
Vacas sin retorno al celo a los 60 días posparto (DPP)	6	13	+7
Días vacíos de las vacas sin retorno al celo a los 60 DPP	90	195	+105
Leche dejada de producir (L vaca ⁻¹) por vacas vacías a los 60 DPP	1.350,00	2925,00	+1.575,00
Pérdidas por venta de la leche (\$ USD)	648,00	1.404,00	+746,00
Perdidas por las ventas de terneros (\$ USD)	82,50	195,00	+112,50
Pérdidas totales por vacas vacías 60 DPP (\$ USD)	730,50	1.599,00	+868,50

CONCLUSIÓN

La suplementación de minerales, vitaminas y aminoácidos durante el PTG-L aumentó significativamente el porcentaje de animales que retornaron al celo dentro de los 60 días posparto, y fue un factor protector para el no retorno al celo en este periodo; con un beneficio económico de 868,50 USD por vaca dejada de suplementar.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de esta investigación agradecemos el apoyo brindado por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador.

Conflicto de intereses

Los autores no tienen conflicto de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. Manual del encuestador, supervisor, digitador. ESPAC [Internet]. Quito (Ecuador): INEC, 2023. [consultado 10 Jul. 2023]. Disponible en: <https://goo.su/Da0sa>
- [2] Armas PJJ, Álvarez CNA, Molina EJM, Romero CF, Cajas J, Yunga VRH, Viera RVG. Influencia de la distribución de la parición anual en los resultados productivos en granjas lecheras de Ecuador. Rev. Ecuat. Cienc. Anim. [Internet]. 2022 [consultado 06 Feb. 2024]; 5(3):142-150. Disponible en: <https://goo.su/mBzppg>
- [3] Balarezo-Urresta LR, Noval-Artiles E, García-Díaz, J.R. Energy-mineral supplementation during the gestation-lactation transition period in Holstein cows, Cuban J. Agric. Sci. [Internet]. 2021 [consultado 16 Feb. 2022]; 55(2):1-11. Disponible en: <https://goo.su/pNUAvZf>

- [4] Butler RW. Metabolic and reproductive interactions in dry and transition dairy cows. En: InCalf Reproduction Symposium. [Internet]. 2013; Melbourne (Australia). [consultado 20 Jul. 2018]: 1-8. Disponible en: <https://goo.su/gdz2or>
- [5] García-Díaz JR, Noval-Artiles E, Pérez-Bello A, Hernández-Barreto M, Pérez-González Y. Effects of copper parenteral supplementation on the weight gain in fattening bulls. Rev. MVZ Córdoba [Internet]. 2017; 22(2):5820-5827. doi: <https://doi.org/10/g8342n>
- [6] Noval E, García-Díaz JR, García-López R, Jimenez-Pérez J. Effect of different doses of an injectable compound of Cu, Zn and Mn on bio-productive indicators of milking cows. Cuban J. Agric. Sci. [Internet]. 2016 [consultado 24 Jun 2021]; 50(2):371-380. Disponible en: <https://goo.su/MTM4tZx>
- [7] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrografía (INAMHI). Datos meteorológicos de la estación meteorológica de Chalpatán, Carchi, Ecuador. [Internet]. Quito (Ecuador): INAMHI; 2023. [consultado 19 Mar. 2023]. Disponible en: <https://goo.su/nSWjns>
- [8] Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy. 13th ed. [Internet]. Washington D.C (EUA): U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service; 2022. [consultado 21 Oct. 2024]. 410 p. Disponible en: <https://goo.su/6rOiHmz>
- [9] Franco W. Suelos Volcánicos y Riesgos y Oportunidades del Desarrollo Agrícola Sostenible en el Cantón Huaca, Carchi-Ecuador. En: Alternativas para el desarrollo de la provincia del Carchi [Internet]. 23 Mar. 2016; Tulcan, Ecuador. Tulcan (Ecuador): Universidad Politecnica Estatal del Carchi (UPEC); 2016 [consultado 19 Jul. 2024]; 23 p. Disponible en: <https://goo.su/YxF6zX>
- [10] French J, Wright T, Mongeon M. Body condition scoring of dairy cattle. factsheet [Internet] Ontario (Canadá): Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs; 2020. [consultado 21 Oct 2024]; 4 p. Disponible en: <https://goo.su/RwpmP>
- [11] Cuesta M, Montejo E, Duvergel J. Medicina Interna Veterinaria. La Habana (Cuba): Editorial Félix Varela; 2007. 327 p.
- [12] Brito R, Blanco GS, Calderón R, Preval B, Campo E. Patología de la Reproducción Animal. 2da ed. La Habana (Cuba): Editorial Félix Varela; 2010.
- [13] Van Eenennaam AL, Silva FDF, Trott JF, Zilberman D. Genetic engineering of livestock: the opportunity cost of regulatory delay. Annu. Rev. Anim. Biosci. [Internet]. 2021; 9:453-478. doi: <https://doi.org/10/g8342p>
- [14] IBM Corp. Released 2011. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- [15] Servicio de Información sobre Saúde Pública de la Dirección Xeral de Saúde Pública de la Consellería de Sanidade (Xunta de Galicia). EPIDAT 3.1. [Internet]. 2005. [consultado 12 Sep 2024]. Disponible en: <https://goo.su/NBt2p>
- [16] Badii MH, Guille A, Abreu JL. Estadísticas para estimación del riesgo (Statistics of risk estimation). Daena Int. J. Good Conscience [Internet]. 2021. [consultado 16 Feb. 2022]; 16(1):1-21. Disponible en: <https://goo.su/wlHWm5q>
- [17] Arthington JD, Swensont CK. Effects of trace mineral source and feeding method on the productivity of grazing Braford cows. Prof. Anim. Sci. [Internet]. 2004; 20(2):155-161. doi: <https://doi.org/10/g8342q>
- [18] Yatoo MI, Saxena A, Deepa PM, Habeab BP, Devi S, Jatav RS, Dimri U. Role of trace elements in animals: a review. Vet. World [Internet]. 2013; 6(12):963-967. doi: <https://doi.org/10/g8342r>
- [19] García JR, Cuesta M, Pedroso R, Rodríguez, J, Gutiérrez M, Mollineda, A Figueredo J, Quiñones R. Suplementación parenteral de cobre en vacas gestantes: efecto sobre postparto y terneros. Rev. MVZ Córdoba [Internet]. 2007; 12(2):985-995. doi: <https://doi.org/10/g8342s>
- [20] Balarezo LR, García-Díaz JR, Hernández-Barreto MA, García López, R. Metabolic and reproductive state of Holstein cattle in the Carchi region, Ecuador. Cuban J. Agric. Sci. [Internet]. 2016 [consultado 17 Jul. 2023]; 50(3):381-392. Disponible en: <https://goo.su/iNve09j>
- [21] García JR, García-López R, Cuesta M, Figueredo JM, Quiñones R, Faure R, Pedroso R, Mollineda A. Blood copper levels and their influence on reproductive indicators of cows in tropical conditions. Cuban J. Agric. Sci. [Internet]. 2010 [consultado 17 May. 2020]; 44(3):233-239. Disponible en: <https://goo.su/Lkod1i>
- [22] García-Díaz JR, Dungula-Sapalalo GH, Noval-Artiles E, Hernández-Barreto MA, Mollineda-Trujillo A, Garzón-Jarrin R. Relación entre cinquemia y fertilidad en vacas lecheras mestizas Holstein x Cebú. Arch. Zootec. [Internet]. 2020; 69(265):96-101. doi: <https://doi.org/10/g8342t>
- [23] Djokovic RD, Kurcubic VS, Ilic ZZ. Blood serum levels of macro-and micronutrients in transition and full lactations cows. Bulgarian J. Agric. Sci. [Internet]. 2014 [consultado 11 Jul. 2024]; 20(3):715-720. Disponible en: <https://goo.su/kryQHNz>
- [24] García-Díaz JR, Munyori-Nderitu H, Cuesta-Mazorra M, Quiñones-Ramos R, Figueredo-Ross JM, Artiles EN, Mollineda-Trujillo Á. Therapeutic efficacy and pharmacological safety of parenteral supplementation of different concentrations of copper in cows. Arch. Tierzucht [Internet]. 2012; 55(1):25-35. doi: <https://doi.org/10/g8342v>
- [25] Balarezo-Urresta LR, García-Díaz JR, Noval-Artiles E. Condición corporal y reinicio de la actividad ovárica posparto en vacas Holstein en Ecuador. Rev. MVZ Córdoba [Internet]. 2020; 25(3):e1859. doi: <https://doi.org/10/g8342w>
- [26] Abuelo A, Hernández J, Benedito JL, Castillo C. The importance of the oxidative status of dairy cattle in the periparturient period: revisiting antioxidant supplementation. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. [Internet]. 2015; 99(6):1003-1016. doi: <https://doi.org/10/f7zgqz>
- [27] Hackbart KS, Ferreira RM, Dietsche AA, Socha MT, Shaver RD, Wiltbank MC, Fricke PM. Effect of dietary organic zinc, manganese, copper, and cobalt supplementation on milk production, follicular growth, embryo quality, and tissue mineral concentrations in dairy cows. J. Anim. Sci. [Internet]. 2010; 88(12):3856-3870. doi: <https://doi.org/10/ccf8f5>

- [28] Sales JNS, Pereira RVV, Bicalho RC, Baruselli PS. Effect of injectable copper, selenium, zinc and manganese on the pregnancy rate of crossbred heifers (*Bos indicus* × *Bos taurus*) synchronized for timed embryo transfer. *Livestock Sci.* [Internet]. 2011; 142(1-3):59-62. doi: <https://doi.org/10/d34j74>
- [29] Barcarolo D, Angeli E, Etchevers L, Ribas LE, Matiller V, Rey F, Ortega HH, Hein GJ. Effect of parenteral supplementation of minerals and vitamins on oxidative stress biomarkers and hepatic fatty acid metabolism in dairy cows during the transition period. *Biol. Trace Elem. Res.* [Internet]. 2024; 2(4):1582-1593 doi: <https://doi.org/10/g8342x>