

## Desempeño reproductivo y producción de leche de vacas en pastoreo suplementadas vía parenteral con minerales y vitaminas en la fase de transición

### Reproductive performance and milk production of grazing cows parenterally supplemented with minerals and vitamins in the transition phase

Irma Bustamante<sup>1\*</sup>, Raúl Cáceres<sup>1</sup>, Javier Perinango<sup>1</sup>, Manuel Paredes<sup>1</sup>

#### RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar los efectos de la suplementación inyectable de minerales y vitaminas sobre el desempeño reproductivo y productivo en vacas en pastoreo. Setenta y dos vacas se asignaron a los siguientes grupos: (1) control (CON, n=18); (2) suplementación inyectable de minerales (SIM, n=18); (3) suplementación inyectable de vitaminas (SIV, n=18); y (4) SIMV (SIM + SIV) (n=18). La suplementación vía IM se hizo a 20 días del parto, el día del parto y 30 días después del parto. Los tratamientos de SIM, SIV y SIMV resultaron en una disminución del intervalo del parto hasta la primera inseminación artificial y mejora de la producción de leche. La inyección de vitaminas o minerales no difirió con el grupo control en número de partos asistidos, retenciones placentarias, intervalo desde el parto hasta la concepción y tasa de preñez según el número de inseminaciones.

**Palabras clave:** suplementación mineral, suplementación vitamínica, producción de leche, desempeño reproductivo, vacas en pastoreo

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú  
\* E-mail: [ibustamanteata20unc@gmail.com](mailto:ibustamanteata20unc@gmail.com)

Recibido: 11 de junio de 2023

Aceptado para publicación: 11 de febrero de 2024

Publicado: 30 de abril de 2024

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effects of injectable mineral and vitamin supplementation on reproductive and productive performance in grazing cows. Seventy-two cows were assigned to the following groups: (1) control (CON, n=18); (2) injectable mineral supplementation (SIM, n=18); (3) injectable vitamin supplementation (SIV, n=18); and (4) SIMV (SIM + SIV) (n=18). IM supplementation was done 20 days before calving, on the day of calving and 30 days after delivery. SIM, SIV and SIMV treatments resulted in a decreased calving interval to first artificial insemination and improved milk production. The injection of vitamins or minerals did not differ from the control group in number of assisted calving, retained placenta, interval from calving to conception and pregnancy rate according to the number of inseminations.

**Key words:** mineral supplementation, vitamin supplementation, milk yield, reproductive performance, grazing cows

## INTRODUCCIÓN

En el Perú, más del 50% de la producción de leche bovina se obtiene en las regiones de Arequipa, Cajamarca y Lima, produciendo más de un millón de toneladas de leche fresca (INDECOPI, 2021). La producción láctea en los Andes peruanos se realiza mayormente bajo el sistema de alimentación con pastos, donde el cultivo de rye gras (*Lolium multiflorum*) es común en Cajamarca (Aubron y Cochet, 2009). El sistema de producción prevalente está marcado por una época de lluvias y una de estiaje. Así, las vacas tienen un intervalo parto-concepción más corto en la época de lluvias, pero afectándose cuando decrece el rendimiento de las pasturas (Arana *et al.*, 2006). Ante esto, el mercado de productos veterinarios ofrece entre otros productos, suplementos inyectables de vitaminas y microminerales sin que se haya comprobado su eficacia en las condiciones locales.

Los minerales y las vitaminas son micronutrientes necesarios para la regulación metabólica, endocrina e inmunitaria en las vacas lecheras (Denholm *et al.*, 2019). Las vacas no sintetizan estos micronutrientes, de

allí que se requiere un suministro exógeno (Yazlik *et al.*, 2021). Los requerimientos de oligoelementos (Zn, Mn, Cu, Se), macro-minerales (Ca, P, K, Mg) y vitaminas aumentan durante el periodo de parto e inicio de la lactación (Mora *et al.*, 2014). Los oligoelementos representan una porción pequeña, pero importante en la dieta de la vaca lechera (Mion, *et al.*, 2022), pues sirven como cofactores de metaloenzimas y son necesarios para varios procesos biológicos, incluida la regulación del equilibrio oxidativo, la síntesis de vitaminas y proteínas y la función de las células inmunitarias (Goff, 2018).

De otro lado, la vaca lechera al inicio de la lactancia muestra incapacidad para mantener las concentraciones de Ca y P en la sangre, afectando la producción y la salud del animal (Yazlik *et al.*, 2021). La hipocalcemia en vacas lecheras potencia el riesgo de desarrollar otras enfermedades clínicas, como enfermedades uterinas, que afectan negativamente la lactancia y el rendimiento reproductivo (Martínez *et al.*, 2012). De la misma manera, la hipofosfatemia es común en vacas lecheras posparto y se asocia con la supresión de la ingesta de alimento y la inmunidad (Eisenberg *et al.*, 2019). Por lo tanto, se requieren de estrategias que permi-

tan cubrir las demandas de Ca y P al inicio de la lactancia (Poindexter *et al.*, 2023). La vitamina D tiene un papel crítico en el mantenimiento de la homeostasis de Ca y P, al estimular la absorción gastrointestinal, la movilización desde la matriz ósea y reabsorción (Wilkens *et al.*, 2020). Si bien hay abundante información sobre las funciones de los minerales y vitaminas en las vacas lecheras (Jin *et al.*, 2014), no se dispone de datos sobre los efectos reproductivos como resultado del uso de suplementos con combinaciones de minerales y vitaminas en la fase de transición de la vaca lechera en pastoreo.

Durante el periodo de transición, desde un mes antes hasta un mes después del parto, las vacas lecheras enfrentan problemas en la regulación de su función inmunológica, que ha sido reconocida como un elemento central para el desarrollo de enfermedades, como la metritis y la mastitis (LeBlanc, 2020). Al mismo tiempo, las vacas experimentan una producción elevada de especies reactivas de oxígeno (Sordillo, 2016). Además, se conoce que las vacas pueden experimentar mayores grados de depresión en el consumo de alimento (Adin *et al.*, 2009). Asimismo, luego del parto, las vacas lecheras requieren más de 100 días para lograr la primera ovulación (Webb *et al.*, 2003). Es probable que la calidad de los folículos sea más sensible a los cambios metabólicos e inmunológicos y a las concentraciones de micronutrientes (Alemu *et al.*, 2023); sin embargo, en vacas al pastoreo, la unión de las fracciones de fibra con oligoelementos podría resultar en menor biodisponibilidad de vitaminas y minerales (Yazlik *et al.*, 2021).

Si bien, sales minerales como sulfatos, óxidos, carbonatos y cloruros, están ampliamente disponibles y representan una forma económica de suplementación, el enlace iónico en sales a menudo se disocia durante el paso por el tracto gastrointestinal, lo que permite interacciones con otras moléculas, reduciendo la biodisponibilidad de los minerales para la absorción (Spears, 2003). Por tanto, el alto

contenido de fibra de los pastos podría afectar la biodisponibilidad de algunos micronutrientes en vacas al pastoreo, y la suplementación mediante inyección de una combinación de minerales y vitaminas durante el periparto podría mejorar el comportamiento reproductivo y, consecuentemente, un aumento en la productividad de las vacas. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la combinación inyectable de minerales y vitaminas en el desempeño productivo y reproductivo de las vacas Holstein en pastoreo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización del Estudio

El estudio se realizó en el establo del Centro de Investigación Pecuaria «Huayrapongo» de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicado a 2649 msnm en el valle interandino de Cajamarca, Perú.

### Manejo de las Vacas

Las vacas en estudio fueron monitoreadas desde el momento del secado (60 días antes del parto) hasta los 5 meses posparto. Las vacas fueron ordeñadas manualmente dos veces al día en una sala de ordeño. Las vacas siempre se mantuvieron juntas, tanto en el campo asignado para el pastoreo como en la sala de ordeño. Los seis potreros utilizados en el estudio tenían rye grass ecotipo Cajamarca, en pastoreo rotacional. Las vacas recibieron además pienso de preparto (1 kg/día) durante 30 días antes del parto. A partir del parto recibieron 5 kg/día de pienso de lactación (Cuadro 1). El suplemento se ofreció una vez al día a las 15:00 h.

### Tratamientos

Se consideraron 72 vacas y vaquillonas Holstein puro por cruce preñadas a partir de los 30 días del preparto en el periodo diciembre de 2013 y febrero de 2018. Los animales (n=18; 3 primíparas y 15 multíparas) fueron

Cuadro 1. Ingredientes y aporte nutricional de los piensos suplementados a vacas lecheras

	Vacas secas	Vacas en lactación
Ingredientes, g/d/vaca		
Maíz amarillo	360	1850
Polvillo de arroz	500	2100
Torta de soya	120	900
Carbonato de calcio	10	95
Sal común	9	50
Premezcla de vitaminas y minerales <sup>1</sup>	1	5
Pienso total	1000	5000
Aporte nutricional, vaca/d		
Materia seca, kg	0,89	4,47
Proteína cruda, g	152	845
Energía neta de lactación, Mcal	2,02	10,20
Extracto etéreo, g	83	368
Fibra detergente neutro, g	163	767
Ca, g	5	41
P, g	10	49
Na, g	4	21
Cl, g	2	10
Cu, mg	20	102
Mn, mg	146	668
Se, mg	0,1	0.69
Zn, mg	71	354
Vitamina A, UI	11 190	55 940
Vitamina D, UI	1 678	8 391
Vitamina E, UI	11	55

<sup>1</sup> Cada kilogramo contiene: Vitamina A 10 000 000 UI, Vitamina D 1 500 000, Vitamina E 10 000 UI, Cu 10 g, Mn 40 g, Se 0.15 g, Zn 40 g

asignados al azar a uno de cuatro tratamientos:

- SIM, suplementación inyectable de minerales. Fertimin Se (Agrovet Market Animal Health) 20 ml/vaca vía IM;
- SIV, suplementación inyectable de vitaminas. Vigantol ADE (Bayer Korea Ltd) 7 ml/vaca vía IM;
- SIMV, suplementación inyectable de minerales y vitaminas. Fertimin Se 20 ml/vaca y Vigantol ADE 7 ml/vaca vía IM;
- CON, inyectadas con 20 ml/vaca de NaCl al 0.9 % como control.

Los tratamientos se aplicaron a los 240 días de gestación, el día del parto y a los 30 días posparto. El suplemento mineral contenía fosforilcolamina 100 mg, gluconato de cobalto 0.08 mg, sulfato de zinc heptahidratado 1.8 mg, gluconato de magnesio dihidratado 2.28 mg, selenito de sodio 0.34 mg y yoduro de potasio 1.1 mg, en tanto que el suplemento vitamínico contenía 500 000 UI de vitamina A, 75 000 UI de vitamina D<sub>3</sub> y 50 mg de vitamina E por cada mililitro.

## Comportamiento Reproductivo

Los partos ocurrieron en los potreros. Se registró el tipo de parto en términos de intervención del personal (partos sin y con asistencia). Se consideró como retención de placenta los casos que las membranas fetales no fueron expulsadas dentro de las 24 h del parto. En caso de placenta retenida, se aplicó una combinación de 8 ml de oxitocina (Oxy-Synt 10, UI/ml: Agrovot Market) vía IM y 2 bolos de furaciclina intrauterina (500 mg de oxitetraciclina + 500 mg de furaltadona; Lab. Labodec).

A la presentación del primer celo se evaluó el flujo vaginal. Se extrajo por palpación transrectal retrayendo el cuello uterino y el útero para obtener el líquido directamente. Se otorgaron los siguientes puntajes: 0 = moco transparente, 1 = moco con algunos puntos de pus, 2 = moco con menos del 50% de material mucopurulento, 3 = flujo con más del 50% de material purulento. Las vacas con puntuación 3 fueron consideradas con endometritis y sometidas a tratamiento farmacológico. Las vacas que presentaron celo antes de 60 días posparto no fueron inseminadas, considerando la recomendación de Arana *et al.* (2006). Vacas inseminadas sin retorno de celo por 45 días fueron examinadas rectalmente para determinar preñez. Todas las vacas preñadas fueron reexaminadas a los 90 días del servicio para determinar posibles abortos. Para evaluar la tasa de fertilidad se consideró el número de preñeces considerando la primera, segunda o tercera inseminación artificial (IA). Además, se determinó el intervalo parto-concepción.

## Rendimiento y Composición de la Leche

Las vacas se ordeñaron dos veces al día a las 05:30 y las 15:00 h. La producción de leche se registró en cada ordeño. Las muestras de leche para el análisis de composición se recolectaron una vez al mes, durante cinco meses de lactación. Las muestras de ordeño matutino y vespertino se mezcla-

ron y la grasa y la proteína se analizaron mediante espectroscopia infrarroja en un equipo Milkoscan en el laboratorio de la empresa Nestlé, Cajamarca, Perú.

## Análisis Estadístico

Los datos fueron examinados con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Se utilizó la prueba de Chi-cuadrado para comparar los grupos en términos de número de partos asistidos, retenciones placentarias y número de vacas preñadas en primera, segunda o tercera inseminación. El intervalo desde el parto hasta la primera IA y el intervalo del parto hasta la concepción se analizaron con la prueba de Kruskal-Wallis. Además, se cumplió con la recomendación de Dineen *et al.* (2021) para evaluar vacas lecheras, quienes estiman que un mínimo de 18 animales por tratamiento proporcionaría un poder superior al 80% para detectar una diferencia biológicamente relevante entre tratamientos. Los datos de producción de leche fueron analizados utilizando el procedimiento MIXED del SAS v. 9.4 (SAS Institute) y las diferencias entre medias se determinaron con la prueba de Tukey.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Desempeño Reproductivo

No se encontraron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) por efecto de la suplementación parenteral de minerales y vitaminas a las vacas en pastoreo con relación a partos asistidos, retención de placenta y tasa de preñez de acuerdo con el número del servicio (Cuadro 2). Por otro lado, en el Cuadro 3 se presentan los intervalos parto-primer servicio y parto-concepción para los grupos en estudio.

La suplementación inyectable de los micronutrientes evaluados no redujo la necesidad de asistencias en el parto ni los casos de retenciones placentarias. En este sentido,

Cuadro 2. Porcentajes de vacas lecheras con partos asistidos y retenciones placentarias, y tasa de preñez según la suplementación mineral y vitamínica en el periparto (n=18 por tratamiento)

Indicadores	CON	SIM	SIV	SIMV	Valor p
Partos asistidos	22.2	16.7	22.2	27.7	0.328
Retenciones placentarias	27.7	22.2	22.2	33.3	0.310
Tasas de preñez (%)					
En la primera inseminación	33.3	38.9	44.4	44.4	0.627
En la segunda inseminación	44.4	44.4	38.9	44.4	0.910
En la tercera inseminación	22.2	16.7	16.7	11.1	0.540

CON: Grupo control

SIM: Inyectadas con minerales 30 días antes del parto, al parto y a los 30 días posparto

SIV: Inyectadas con vitaminas 30 días antes del parto, al parto y a los 30 días posparto

SIMV: Inyectadas con minerales y vitaminas 30 días antes del parto, al parto y a los 30 días posparto

Cuadro 3. Intervalo entre el parto y la primera inseminación artificial (IPIA) e intervalo entre el parto y la concepción (IPC) de vacas en pastoreo suplementadas con minerales y vitaminas vía IM en el periodo de periparto

Tratamientos	IPIA (días)	IPC (días)
CON	106.2±11.2 <sup>b</sup>	127.2 ± 16.6
SIM	97.0 ± 8.6 <sup>a</sup>	122.2 ± 13.1
SIV	94.6 ± 10.2 <sup>a</sup>	124.8 ± 14.5
SIMV	90.8 ± 9.1 <sup>a</sup>	123.4 ± 13.7
Valor p	0.043	0.251

CON: Grupo control

SIM: Inyectadas con minerales 30 días antes del parto, al parto y a los 30 días posparto

SIV: Inyectadas con vitaminas 30 días antes del parto, al parto y a los 30 días posparto

SIMV: Inyectadas con minerales y vitaminas 30 días antes del parto, al parto y a los 30 días posparto

<sup>a,b</sup> Promedio son superíndices diferentes indican diferencia significativa (p<0.05)

Yazlýk *et al.* (2021) tampoco lograron reducir los casos de partos distócicos y retenciones placentarias, ni variar la tasa de concepción al aplicar oligoelementos y vitaminas en el periparto. Al respecto, Machado *et al.* (2013) sostienen que las inyecciones de oligoelementos durante el período de transi-

ción no tienen efecto sobre los indicadores de fertilidad, en tanto que Bach *et al.* (2015) manifiestan que los mecanismos de acción de los oligoelementos y su influencia en aspectos reproductivos de las vacas no están bien aclarados.

Según Webb *et al.* (2003), el periodo de desarrollo de un folículo primario posparto hasta el momento de la ovulación puede ser de más de tres meses, pues depende del medio bioquímico y factores metabólicos que probablemente modulan la calidad o competencia de los folículos y ovocitos durante el periodo pre y posparto de la vaca (Yazlik *et al.*, 2021). En el presente estudio, las vacas tuvieron una oferta forrajera en pastoreo adicionada con piensos preparto y de lactación que pudieron contribuir favorablemente con el medio bioquímico en las estructuras reproductivas de las vacas; de allí que los resultados no mostraron el efecto benéfico de las vitaminas o elementos minerales inyectados. Los procesos de desarrollo de los folículos y el proceso de maduración de los ovocitos también requieren un suministro de energía en forma de trifosfato de adenosina para el proceso de transcripción (Kala *et al.*, 2017). Las vacas del presente estudio, en condiciones de la sierra peruana, consumieron piensos glucogénicos ricos en almidón que

Cuadro 4. Media de la producción y composición de la leche en los primeros 150 días de lactación de vacas en pastoreo suplementadas por vía parenteral con minerales y vitaminas

Tratamientos	Producción de leche (kg/día)	Grasa en leche (g/kg)	Proteína en leche (g/kg)
CON	14.5 <sup>b</sup>	36.2	34.7
SIM	15.8 <sup>a</sup>	36.9	34.8
SIV	15.7 <sup>a</sup>	37.1	34.6
SIMV	16.3 <sup>a</sup>	36.5	34.9
SEM	0.381	0.201	0.064
Valor p	0.048	0.272	0.893

CON: Grupo control

SIM: Inyectadas con minerales 30 días antes del parto, al parto y a los 30 días posparto

SIV: Inyectadas con vitaminas 30 días antes del parto, al parto y a los 30 días posparto

SIMV: Inyectadas con minerales y vitaminas 30 días antes del parto, al parto y a los 30 días posparto

favorecieron el metabolismo energético para un buen funcionamiento ovárico. Por otro lado, se debe tener en cuenta que la calidad de los ovocitos se ve afectada por la presencia de especies reactivas de oxígeno, que induce la atresia folicular y la apoptosis de las células de la granulosa (Devine *et al.*, 2012).

En el presente estudio solo se determinó la disminución del intervalo parto a la primera inseminación, sin que se logre mejorar las concepciones por efecto de los tratamientos evaluados.

### Producción de Leche

La producción de leche fue significativamente mayor en las vacas tratadas con los suplementos minerales y vitamínicos en comparación con el grupo control (Cuadro 4), especialmente con mejoras de 1.8 kg/d de leche por vaca en el tratamiento SIMV con relación a las vacas del grupo control. En contraste, Mion *et al.* (2022) encontró en vacas primíparas que recibieron minerales traza de mayor digestibilidad y absorción, una reducción de casi 2 kg/día de leche que las vacas primíparas que recibieron minerales traza como sales inorgánicas. Asimismo,

Siciliano-Jones *et al.* (2008) reportaron una tendencia a mayores rendimientos de leche al reemplazar parcialmente las sales minerales por minerales quelatados durante el periodo de transición.

Las inyecciones parenterales de minerales (P, Co, Zn, Mg, Se, I, Na y K) y vitaminas A, D y E no alteraron el contenido graso o proteico de la leche de vacas al pastoreo, lo cual estaría en concordancia con lo manifestado por Denholm *et al.* (2019), quienes señalan que la composición de la leche se vería afectada cuando la vaca se alimenta solo con pasturas o con subproductos de cereales, descartando la influencia de los micronutrientes sobre la mayor cantidad de grasa y proteína de la leche. Por el contrario, Nocek *et al.* (2006) reportaron mayores rendimientos de leche, grasa y proteína al reemplazar las sales minerales de Co, Cu, Mn y Zn por fuentes más asimilables de minerales traza. Es conocido que los macronutrientes de la dieta influyen las concentraciones de nutrientes de la leche; sin embargo, minerales como el nivel de I en la dieta o la presencia de antagonistas como los glucosinolatos pueden alterar la composición láctea (Flachowsky *et al.*, 2014). De otro lado, se

ha determinado que la baja concentración de Na en la leche al inicio de la lactancia puede deberse a la disminución de la actividad de la renina plasmática posparto, sin que influya el contenido graso o proteico de la leche (Rocha *et al.*, 2010).

## CONCLUSIONES

- Vacas tratadas con suplementos minerales y/o vitamínicos a los 30 días preparto, al parto y a los 30 días posparto tienen mayor probabilidad de lograr un intervalo parto-primera inseminación menor que las vacas del grupo control, pero sin mejoras en el intervalo parto-concepción.
- La inyección parenteral de minerales y vitaminas mejoró la producción de leche en los primeros cinco meses de lactación.
- Vacas en pastoreo suplementadas con piensos de preparto y de lactación no requieren suplementación parenteral de minerales y vitaminas para mejorar su desempeño reproductivo.

## LITERATURA CITADA

1. **Adin G, Gelman A, Solomon R, Flamenbaum I, Nikbachat M, Yosef E, Zenou A, et al. 2009.** Effects of cooling dry cows under heat load conditions on mammary gland enzymatic activity, intake of food and water, and performance during the dry period and after parturition. *Livest Sci* 124:189-195. doi: 10.1016/j.livsci.2009.01.014
2. **Alemu TW, Schuermann Y, Madogwe E, Yves AS, Dicks N, Bohrer R, Higginson V, et al. 2023.** Severe body condition loss lowers hepatic output of IGF1 with adverse effects on the dominant follicle in dairy cows. *Animal* 18: 101063. doi: 10.1016/j.animal. 2023.-101063
3. **Arana C, Echevarría L, Segura J. 2006.** Factores que afectan el intervalo parto-primero servicio y primer servicio-concepción en vacas lecheras del valle del Mantaro durante la época lluviosa. *Rev Inv Vet Perú* 17: 108-113. doi: 10.15381/rivep.v17i2.1519
4. **Aubron C, Cochet H. 2009.** Producción lechera en los Andes peruanos: ¿Integración al mercado interno o marginación económica? *Anuario Americanista Europeo*. [Internet]. Disponible en: <https://hal.science/hal-02518862>.
5. **Bach A, Pinto A, Blanch M. 2015.** Association between chelated trace mineral supplementation and milk yield, reproductive performance, and lameness in dairy cattle. *Livest Sci* 182: 69-75. doi: 10.1016/j.livsci.2015.10.023
6. **Denholm SJ, Sneddon AA, McNeilly TN, Bashir S, Mitchell MC, Wall E. 2019.** Phenotypic and genetic analysis of milk and serum element concentrations in dairy cows. *J Dairy Sci* 102: 11180-11192. doi: 10.3168/jds.2019-16960
7. **Devine PJ, Perreault SD, Luderer U. 2012.** Roles of reactive oxygen species and antioxidants in ovarian toxicity. *Biol Reprod* 86: 27-31. doi: 10.1095/biolreprod.111.095224
8. **Dineen M, McCarthy B, Dillon P, Coughlan F, Galvin N, Van Amburgh ME. 2021.** The effect of concentrate supplement type on milk production, nutrient intake, and total-tract nutrient digestion in mid-lactation, spring-calving dairy cows grazing perennial ryegrass (*Lolium perenne* L) pasture. *J Dairy Sci* 104: 11593-11608. doi: 10.3168/jds.2021-20148
9. **Eisenberg SWF, Ravesloot L, Koets AP, Grünberg W. 2019.** Effect of dietary phosphorus deprivation on leukocyte function in transition cows. *J Dairy Sci* 102: 1559-1570. doi: 10.3168/jds.2018-15417

10. **Flachowsky G, Franke K, Meyer U, Leiterer M, Schöne F. 2014.** Influencing factors on iodine content of cow milk. *Eur J Nutr* 53: 351-365. doi: 10.1007/s00394-013-0597-4
11. **Goff JP. 2018.** Invited review: Mineral absorption mechanisms, mineral interactions that affect acid-base and antioxidant status, and diet considerations to improve mineral status. *J Dairy Sci* 101: 2763-2813. doi: 10.3168/jds.2017-13112
12. **[INDECOPI] Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. 2021.** Informe de lanzamiento del estudio de mercado sobre el sector lácteo en el Perú. 27 p.
13. **Jin L, Yan S, Shi B, Bao H, Gong J, Guo X, Li J. 2014.** Effects of vitamin A on the milk performance, antioxidant functions and immune functions of dairy cows. *Anim Feed Sci Tech* 192: 15-23. doi: 10.1016/j.anifeeds.2014.03.003
14. **Kala M, Shaikh MV, Nivsarkar M. 2017.** Equilibrium between anti-oxidants and reactive oxygen species: a requisite for oocyte development and maturation. *Reprod Med Biol* 16:28-35. doi: 10.1002/rmb2.12013
15. **LeBlanc SJ. 2020.** Review: Relationships between metabolism and neutrophil function in dairy cows in the peripartum period. *Animal* 14: s44-s54. doi: 10.1017/S1751731119003227
16. **Machado VS, Bicalho MLS, Pereira RV, Caixeta LS, Knauer WA, Oikonomou G, Bicalho RC. 2013.** Effect of an injectable trace mineral supplement containing selenium, copper, zinc, and manganese on the health and production of lactating Holstein cows. *Vet J* 197:451-456. doi: 10.3168/jds.2013-7625
17. **Martinez N, Risco CA, Lima FS, Bisinotto RS, Greco LF, Ribeiro ES, Santos JEP. 2012.** Evaluation of periparturient calcium status, energetic profile, and neutrophil function in dairy cows at low or high risk of developing uterine disease. *J Dairy Sci* 95: 7158-7172. doi: 10.3168/jds.2012-5812
18. **Mion B, Van Winters B, King K, Spricigo JFW, Ogilvie L, Guan L, DeVries TJ, et al. 2022.** Effects of replacing inorganic salts of trace minerals with organic trace minerals in pre- and postpartum diets on feeding behavior, rumen fermentation, and performance of dairy cows. *J Dairy Sci* 105: 6693-6709. doi: 10.3168/jds.2022-21908
19. **Mora AM, van Wendel de Joode B, Mergler D, Coirdoba L, Cano C, Quesada R, Bradman A. 2014.** Blood and hair manganese concentrations in pregnant women from the infants' environmental health study (ISA) in Costa Rica. *Environ Sci Technol* 48: 3467-3476. doi: 10.1021/es404279r.Epub
20. **Nocek JE, Socha MT, Tomlinson DJ. 2006.** The effect of trace mineral fortification level and source on performance of dairy cattle. *J Dairy Sci* 89: 2679-2693. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72344-X
21. **Poindexter MB, Zimpel R, Vieira-Neto A, Husnain A, Silva ACM, Faccenda A, Sanches de Avila A, et al. 2023.** Effect of source and amount of vitamin D on serum concentrations and retention of calcium, magnesium, and phosphorus in dairy cows. *J Dairy Sci* 106: 954-973. doi: 10.3168/jds.2022-22386
22. **Rocha G, Ribeiro O, Guimaraes H. 2010.** Fluid and electrolyte balance during the first week of life and risk of bronchopulmonary dysplasia in the preterm neonate. *Clinics* 65: 663-674. doi: 10.1590/S1807-59322010000700004
23. **Siciliano-Jones JL, Socha MT, Tomlinson DJ, DeFrain JM. 2008.** Effect of trace mineral source on lactation performance, claw integrity, and fertility of dairy cattle. *J Dairy Sci* 91: 1985-1995. doi: 10.3168/jds.2007-0779
24. **Sordillo LM. 2016.** Nutritional strategies to optimize dairy cattle immunity. *J Dairy Sci* 99: 4967-4982. doi: 10.3168/jds.2015-10354
25. **Spears JW. 2003.** Trace mineral bioavailability in ruminants. *J Nutr* 133: 1506S-1509S. doi: 10.1093/jn/133.5.-1506S

26. **Webb R, Nicholas B, Gong JG, Campbell BK, Gutierrez CG, Garverick HA, Armstrong DG. 2003.** Mechanisms regulating follicular development and selection of the dominant follicle. *Reprod Suppl* 61: 71-90.
27. **Wilkins MR, Nelson CD, Hernandez LL, McArt JAA. 2020.** Symposium review: Transition cow calcium homeostasis - Health effects of hypocalcemia and strategies for prevention. *J Dairy Sci* 103: 2909-2927. doi: 10.3168/jds.2019-17268
28. **Yazlýk MO, Çolakoglu HE, Pekcan M, Kaya U, Küplülü S, Kaçar C, Polat M, et al. 2021.** Effects of injectable trace element and vitamin supplementation during the gestational, peri-parturient, or early lactational periods on neutrophil functions and pregnancy rate in dairy cows. *Anim Reprod Sci* 225:106686. doi: 10.1016/j.anireprosci.2021.106686