

NOTA TÉCNICA

Efecto de suplementos minerales orales e inyectables en el desarrollo morfológico de novillas cruzadas¹

Luis Alejandro Rodríguez-Campos², Carlos Arroyo-Oquendo², Fabio Blanco-Rojas³, Juan Ignacio Herrera-Muñoz², Roger Molina-Coto²

RESUMEN

La nutrición mineral es clave en la productividad del ganado bovino, por eso se han introducido al mercado costarricense productos orales y parenterales que prometen favorecer el crecimiento y desarrollo corporal. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del uso de un suplemento mineral oral y dos inyectables en la ganancia diaria de peso, medidas corporales e índices zoométricos en novillas mestizas *Bos taurus* × *Bos indicus*. La investigación se efectuó entre abril de 2014 y febrero de 2015 en la Finca de Producción Animal en la Estación Experimental Los Diamantes, Guápiles, Costa Rica. Se sometió a 42 novillas, divididas en siete corrales y estratificadas por peso, a los siguientes tratamientos: T0 (n=6): sal blanca + inyección de solución salina, T1 (n=12): suplemento multimineral oral (SMO) + inyección de salina, T2 (n=12): SMO + inyección de butafosfán y cianocobalamina, T3 (n=12) SMO + inyección de fosforilcolamina, selenio, yodo y zinc. Las inyecciones se administraron mensualmente (dosis: 1 ml/20 kg PV, vía intramuscular). Se determinó mensualmente el peso, y bimestralmente la altura a la cruz (AC), ancho de caderas (ANC) e isquiones (ANI), largo del cuerpo (LC), los índices pelviano transversal (IPT) y de proporcionalidad (IP). El tratamiento T1 aumentó el ANC en un centímetro respecto a T0 ($p < 0,001$), y el T2 aumentó el IP cuatro unidades respecto a T1 ($p = 0,009$), sin diferencias con T3. En ambos casos la interacción tratamiento*tiempo fue significativa ($p < 0,05$). Otras variables no fueron afectadas por el tratamiento. El uso de los suplementos parenterales empleados no benefició la morfología o el peso de novillas, si estas reciben suplementación oral.

¹ Este trabajo formó parte del trabajo final de graduación del primer autor, en la modalidad de tesis, para obtener el título de Licenciado en Zootecnia y del proyecto 739-B4-062 inscrito en Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

² Universidad de Costa Rica, Escuela de Zootecnia y Unidad de Reproducción Animal. San José, Costa Rica. Autores para correspondencia: lalejandrordriguez@yahoo.es, carlos.arroyo@ucr.ac.cr, juanignacio.herrera@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0001-5004-0826>), roger.molina@ucr.ac.cr (<https://orcid.org/0000-0003-3844-2587>)

³ Berufweiss S.A., Consultor independiente. Barva, Heredia, Costa Rica. fabioa.blanco@gmail.com.

Recibido: 5 setiembre 2019

Aprobado: 24 julio 2020

Obra bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas 4.0



Palabras clave: nutrición, conformación corporal, ganado, minerales.

ABSTRACT

Effect of oral and injectable mineral supplements on morphologic development of zebu crossbred heifers. Mineral nutrition is important to determine cattle productivity, for that reason, oral and parenteral mineral supplements promising to improve growth and body development have been introduced to Costa Rica market. The aim of this work was to evaluate the effects of the use of an oral and two parenteral supplements weight and morphology of *Bos indicus* × *Bos taurus* heifers. The work was carried out from April 2014 to February 2015, in the Animal Production Farm at Los Diamantes Experimental Station, Guápiles, Costa Rica. 42 heifers, allotted in seven pens, and stratified by weight, received the following treatments: T0 (n=6): common salt + saline solution injection. T1 (n=12): oral mineral supplement (SMO) + injected saline solution. T2 (n=12): SMO + butaphosphan and cyanocobalamin injection. T3 (n=12): SMO + phosphorylcolamine, selenium, iodine and zinc injection. Injections were administered monthly (dose: 1 ml/20 kg BW, intramuscularly administered). Weight and average daily gain were measured monthly, withers height (AC), hip height (ANC), pins width (ANI), body length (LC), transversal pelvic index (IPT) and proportionality (IP) were measured bimonthly. T1 increased ANC one centimetre over T0 ($p < 0,001$) and T2 increased IP four units over T1 ($p=0.009$), without differences with T3. In both cases significant time*treatment interactions were detected. Other variables were not affected. Parenteral supplements evaluated did not produce benefits on morphology or weight of heifers, if they received oral mineral supplements.

Keywords: nutrition, body conformation, cattle, minerals.

INTRODUCCIÓN

La suplementación mineral es clave en la nutrición del ganado en desarrollo, pues permite satisfacer los requerimientos de los animales para sostener el nivel productivo deseado cuando las materias primas de la dieta tienen un aporte insuficiente de minerales (Grace y Knowles 2012). Estudios realizados con rumiantes en pastoreo, en condiciones de pasturas deficientes en minerales, han encontrado beneficios de la provisión de minerales vía oral en la producción y la reproducción de bovinos de carne y de leche (McDowell y Arthington 2005). Sin embargo, los beneficios de su uso varían según la época climática, los niveles de nutrimentos en el pasto o el nivel de confinamiento en el sistema (Rodríguez-Campos y Ruiz-Sánchez 2015).

Los suplementos minerales inyectables o parenterales, por otro lado, son recomendados en casos de deficiencia clínica de algún mineral (Grace y Knowles 2012) y se utilizan para proveer minerales escasos o difíciles de absorber a partir de la dieta, con el fin de generar respuestas metabólicas específicas en condiciones de estrés fisiológico (Genther y Hansen 2014a; 2014b). Rodríguez-Campos y Ruiz-Sánchez (2015) indican, a partir de una revisión de literatura, que el uso de suplementos parenterales no mejora la ganancia de peso de hembras bovinas, si existe una adecuada suplementación oral. Sin embargo, se detectaron mejorías en variables como capacidad antioxidante, respuesta inmunológica y porcentaje de preñez. Esto ocurre debido a que los procesos metabólicos presentan diferencias en su sensibilidad al estatus mineral de los animales, siendo la ganancia de peso una variable poco sensible a los cambios en el estatus mineral, a pesar de su gran importancia para los productores (Suttle 2010).

Las mediciones zoométricas evalúan caracteres morfoestructurales de los animales (alturas, anchuras, largos, diámetros y sus razones), que permiten conocer la conformación corporal de los animales y predecir sus capacidades productivas (Sierra 2009). Diversos autores han asociado este tipo de medidas con variables de rendimiento cárnico (Clarke et al. 2009a; 2009b; Conroy et al. 2009; Alonso et al. 2013; De-Paula et al. 2013; Pogorzelska-Przybyłek et al. 2014). Sin embargo, pocos estudios han evaluado el efecto de estrategias de nutrición mineral en estas características. Por ejemplo, Esser et al. (2009), no observaron diferencias en peso, altura de la grupa, ancho de la cadera, largo del cuerpo, circunferencia torácica, circunferencia de los metacarpos y área pélvica al proveer 0,39% de fósforo a un grupo de novillas lecheras, en comparación con otro que recibió 0,29%, ambos por 600 días.

De manera similar, en Venezuela, Mora et al. (2010a) no encontraron diferencias en peso, altura a la cruz y perímetro torácico en machos Brahman bajo pastoreo que recibían solo suplementación mineral oral, con otros a los cuales se les suministraba inyectables a base de gluconato de zinc y glicinato de cobre, así como la mezcla de ambos. Sin embargo, en otro estudio con 33 hembras y 34 machos sometidos a similares tratamientos, encontraron un efecto negativo del zinc inyectado sobre la altura de la cruz de los animales (Mora et al. 2010b). Dicho estudio no indica si la respuesta fue diferente por el sexo del animal.

Lo anterior, muestra que aún es necesario determinar el papel que podrían tener los minerales en el desarrollo corporal de las hembras bovinas. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de un suplemento mineral oral y dos suplementos inyectables en el peso, la ganancia diaria de peso, medidas zoométricas e índices zoométricos en novillas cruzadas *Bos taurus* × *Bos indicus*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Manejo general

El trabajo se realizó en la Finca Experimental de Producción Animal, ubicada en la Estación Experimental Los Diamantes, bajo el convenio de cooperación, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Universidad de Costa Rica (UCR) en Guápiles, Pococí. Esta se localiza a 10°13' N y 83°46' O y presenta una altitud de 249 m.s.n.m. Tiene precipitación promedio de 4577 mm/año, humedad relativa de 87% y temperatura de 24,5 °C (IMN, comunicación personal, 2014), clasificándose dentro de la zona de vida Bosque Tropical Muy Húmedo (Holdridge, 1967).

Se utilizaron 42 novillas con una proporción racial aproximada de 75% cebuino, 25% europeo, provenientes del cruce de toro Brahman con vacas Brahman × Pardo Suizo o Brahman × Holstein, criadas en una misma finca; que al ser adquiridas (enero 2014) contaban con un peso y una edad aproximados de 180 kg y siete meses. Las mismas al ser recibidas en el lugar del experimento fueron descornadas y desparasitadas usando ivermectina al 3,15% (1 ml/50 kg PV). Todas las novillas recibieron una dosis de vacuna anticlostridial y vacuna triple a los doce meses de edad.

Se mantuvieron en corrales techados de 35 m² con piso de concreto recubierto con tapetes de material sintético. Todos los animales recibieron la misma dieta base y un alimento balanceado dos veces al día (06:00 y 15:00). La composición de la dieta y el alimento balanceado se describen en el Cuadro 1. Los suplementos orales se ofrecieron a libre consumo en saladeros ubicados en cada corral. La composición química de los alimentos se describe en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Ingredientes de las dietas y los alimentos balanceados usados durante la evaluación del efecto del uso de un suplemento mineral oral y dos suplementos inyectables en el peso, la ganancia diaria de peso, medidas zoométricas e índices zoométricos en novillas cruzadas *Bos taurus* × *Bos indicus*. Guápiles, Costa Rica. Abril 2014-Enero 2015.

Alimento	Fase 1 (<300 kg PV)	Fase 2 (>300 kg PV)
Composición de la Dieta (kg/animal/día, base fresca)		
Banano verde picado	15,0	20,00
Cáscara de banano maduro	15,0	20,00
Pasto picado ¹	5,0	7,00
Alimento balanceado fase 1	1,5	-
Alimento balanceado fase 2	-	2,00
Urea	0,1	0,11
Composición del Alimento Balanceado (g/kg, base fresca)		
Harina de coquito de palma africana	330	300
Semolina de arroz	200	100
Acemite de trigo	200	50
Maíz molido	100	350
Harina de soya	100	0
DDGS maíz	40	200
Melaza de caña	30	0

¹*Pennisetum purpureum* cv. King Grass, sesenta días de rebrote.

Cuadro 2. Análisis químico de los alimentos empleados para determinar el efecto del uso de un suplemento mineral oral y dos suplementos inyectables en el peso, la ganancia diaria de peso, medidas zoométricas e índices zoométricos en novillas cruzadas *Bos taurus* × *Bos indicus*. Guápiles, Costa Rica. Abril 2014-Enero 2015.

Nutriente	Suplemento Mineral Oral ¹	Cáscara de Banano Maduro	Pasto Picado	Banano Verde	Alimento Balanceado	
					Fase 1	Fase 2
Materia Seca (%)	94	13,85	11,20	17,91	87,91	88,45
Cenizas (% MS)	99	10,94	13,57	6,26	5,98	3,99
PC (% MS)	-	8,16	7,20	5,07	16,00	14,00
EM (Mcal/kg MS)	-	1,92	1,65	2,51	2,97	3,10
Macrominerales (% MS)						
Calcio	11,5	0,270	0,20	0,060	0,150	0,160
Fósforo	9,0	0,180	0,26	0,110	0,920	0,680
Sodio	20,0	0,023	0,019	0,006	0,086	0,057
Potasio	-	4,390	4,91	2,400	1,840	0,980
Magnesio	1,5	0,140	0,15	0,120	0,430	0,310
Microminerales (mg/kg MS)						
Zinc	4000	15,97	25,80	10,78	63,48	46,30
Manganeso	1000	55,04	102,77	16,09	83,07	66,30
Hierro	250	307,91	202,77	198,38	202,99	118,30
Cobre	1000	8,78	7,68	4,92	13,28	12,82
Yodo	75	34,90	21,20	59,60	-	-
Cobalto	15	MLD	MLD	MLD	-	-
Selenio	32	MLD	MLD	MLD	0,28	0,21
Molibdeno	-	MLD	MLD	4,52	2,43	1,28

MLD: Concentración menor que los límites de detección (Co 1 µg/kg, Se 30 µg/kg, Mo 0,6 µg/kg). ¹Mezcla comercial de minerales y vitaminas con sal blanca adicionada en proporción 1:1, se indica la composición según análisis garantizado.

Distribución de los animales y descripción de los tratamientos

Las 42 novillas fueron pesadas 31 días antes del inicio del experimento (7 de abril de 2014, peso promedio: 223 kg, rango de peso: 183-263 kg, edad estimada: diez meses) y agruparon formando doce estratos por peso (seis estratos con cuatro y seis con tres novillas). De cada estrato de cuatro novillas se seleccionó una al azar y se asignó al tratamiento de referencia (T0: Sal blanca *ad libitum* + inyección intramuscular de solución salina). Este grupo fue ubicado

en un corral separado. Seguidamente, se ubicaron dos estratos por corral y se seleccionó una novilla de cada estrato para asignarle uno de los siguientes tratamientos:

T1. Suplemento mineral oral (SMO) *ad libitum* + inyección intramuscular de solución salina.

T2. SMO *ad libitum* + inyección intramuscular de suplemento parenteral con 100 mg de butafosfán y 50 µg de cianocobalamina por mililitro (equivalente a 17,3 ml de P y 2,2 µg de Co por ml de solución).

T3. SMO *ad libitum* + inyección intramuscular de suplemento parenteral con 100 mg fosforilcolamina, 13,19 mg de sulfato de zinc, 20 mg de yoduro de potasio y 0,22 mg de selenito de sodio por mililitro (equivalente a 22 mg de P, 3 mg de Zn, 15 mg de I y 0,1 mg de Se por ml de solución).

Los suplementos parenterales fueron administrados por personal entrenado en los músculos del cuello, una vez al mes, inmediatamente después de los pesajes y mediciones zoométricas (entre 8 y 3 pm, según el orden de cada corral). La dosis empleada fue de 1 ml/20 kg de peso vivo, siguiendo las recomendaciones de los fabricantes. Si la dosis era mayor a 10 ml, se aplicó en dos puntos. Se usaron agujas de calibre 16 y 3,8 cm de largo (1,5 pulgadas), desinfectadas con alcohol étílico entre cada animal. Los animales se mantuvieron en una manga ganadera y se sujetaron solamente si mostraban un comportamiento inquieto, usando una cuerda o una prensa ganadera.

Mediciones

El experimento tuvo una duración de 286 días (mayo 2014-marzo 2015). El peso fue evaluado una vez al mes con una precisión de ±1 kg, aproximadamente a la misma hora, por la misma persona. Las medidas zoométricas (Figura 1) fueron tomadas cada dos meses, por la misma persona, de acuerdo con Parés-Casanova (2009). Con estas mediciones se calcularon los siguientes índices zoométricos:

Proporcionalidad (IP) = $AC / LC \times 100$.

Pelviano Transversal (IPT) = $ANC / AC \times 100$.

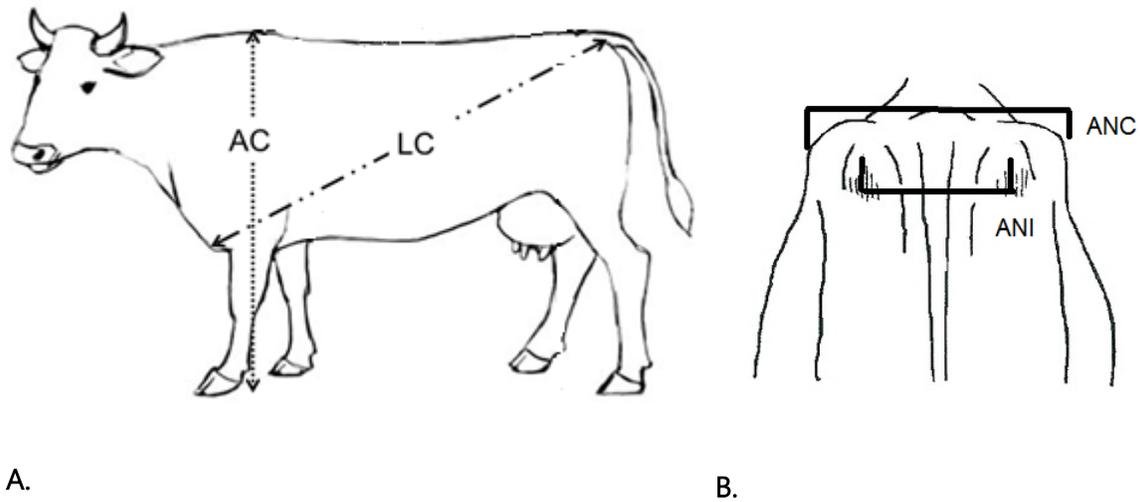


Figura 1. Representación de las mediciones zoométricas analizadas. Panel A: Vista lateral del animal mostrando la Altura a la Cruz (AC) y la Longitud Corporal (LC). Panel B: Vista posterior del animal, mostrando los sitios de medición del Ancho de Caderas (ANC) y el ancho de isquiones (ANI). Guápiles, Costa Rica. Abril 2014-Enero 2015.

Evaluación del consumo de nutrientes

La composición mineral de los alimentos se determinó en el Centro de Investigaciones en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica. Los contenidos de materia seca, cenizas, Ca, P, Mg, Na, K, Zn, Mn, Se y Cu fueron determinados según AOAC (2012), I mediante una valoración potenciométrica (Hoover et al. 1971), Mo y Co por el método de espectrometría de absorción atómica (Curtis y Grusovin 1985, Blanchflower et al. 1990). Los valores de energía metabolizable y proteína cruda se extrajeron de Sánchez y Soto (1999a; 1999b), Herrera (2002), y Mata (2011).

Se estimó el consumo de nutrientes de las novillas a partir del pesaje de las cantidades de alimento ofertadas y rechazadas y se comparó con los requerimientos para ganado cruzado *Bos taurus* × *Bos indicus* de 250 (Fase 1) y 400 kg (Fase 2) de peso (Valadares-Filho et al. 2010). Para ello, se supuso dos posibles niveles de consumo de suplementos minerales (60 y 80 g/día). Se utilizaron los coeficientes de absorción indicados por Valadares-Filho et al. (2010) para la dieta base (Ca: 0,55; P: 0,68; Na: 0,91; K: 1,00 y Mg: 0,16) y, para estimar la absorción a partir del SMO, se emplearon los coeficientes indicados en el NRC (2001) para el fosfato dicálcico (0,94 para el calcio y 0,75 para el fósforo) y óxido de magnesio (0,70).

El aporte de nutrientes de los suplementos parenterales no fue calculado, considerándolo insignificante con respecto a los aportes dietéticos. Cualquier efecto que se observe a partir de su uso debería deberse a algún estímulo al metabolismo.

Análisis estadístico

El efecto del SMO se determinó comparando las mediciones del grupo de referencia (T0) con las de seis novillas de los mismos estratos pero que recibieron el T1, esto con el fin de comparar grupos balanceados. Esta comparación se formuló para detectar diferencias significativas ($p < 0,05$) de al menos 82.5 g en la ganancia diaria de peso con una potencia de 80% (suponiendo un promedio de 750 g/d y un coeficiente de variación de 10%). Por su parte, para evaluar el efecto del uso de suplementos inyectables, se compararon los resultados de los grupos T1, T2 y T3, usando como bloque el corral de pertenencia. Dicha configuración permitiría detectar diferencias en la ganancia diaria de peso de al menos 50 g con una potencia de 80% (siguiendo los mismos supuestos indicados anteriormente).

En ambos casos se empleó un modelo de medidas repetidas en el tiempo, usando la instrucción REPEATED del procedimiento MIXED de SAS/STAT 9.3 (SAS 2011). Como unidad experimental se consideró una novilla. En todas las variables se incluyó la medición obtenida en abril (medición inicial) como covariable:

$$Y_{ijk} = T_i + t_j + (T * t)_{ij} + \beta(X_{ij} - \bar{X}) + \delta_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} corresponde a la medición del animal k -ésimo, asignado al tratamiento i -ésimo, realizada el día j -ésimo.

μ es la media poblacional.

T_i es el efecto del tratamiento i -ésimo.

t_j es el efecto del j -ésimo momento en que se realizó la medición.

δ_k es el efecto aleatorio de las medidas repetidas sobre el k -ésimo animal

β es el coeficiente de regresión entre X y Y.

X_{ij} es la medición de la covariable realizada en tiempo 0 al animal k -ésimo.

\bar{X} es el promedio de los valores de la covariable.

$(T * t)_{ij}$ es la interacción entre el tratamiento i -ésimo y el j -ésimo momento de medición.

ϵ_{ijk} es el error aleatorio asociado a la medición Y_{ijk} .

La estructura de covarianzas de medidas repetidas para cada variable se determinó según Littel et al. (2006). Brevemente, se obtienen las estructuras de covarianzas observadas para ver cuáles modelos podrían aproximarse mediante análisis gráfico. Luego se prueban los posibles modelos y se escoge con base en los criterios de ajuste (AIC y BIC). De esta forma, se

seleccionaron dos estructuras de covarianza: autoregresiva heterogénea de primer orden para Peso, GDP, AC, ANC, ANI, LL y LC; y simetría compuesta heterogénea para CT, IP, IA, IC e IPT. Aunque el uso de los criterios de ajuste para la escogencia de la estructura de covarianza podría dar lugar a una escogencia incorrecta (Keselman et al., 1998), el uso del análisis gráfico favorece una mejor comprensión del comportamiento (Littel et al, 2006). Adicionalmente, Kowalchuk et al. (2004) indican que los problemas que una escogencia incorrecta pueden generar se ven compensados porque muchas estructuras de covarianza son similares en naturaleza y, por tanto, difíciles de diferenciar en tamaños de muestra similares a los usados en este estudio.

En todos los casos se analizó el cumplimiento del supuesto de normalidad. Se evidenció la existencia de heteroscedasticidad relacionada al tiempo, lo cual se controló al usar estructuras de covarianza heterogéneas. Las comparaciones de medias se realizaron usando la prueba de la diferencia mínima significativa, protegida mediante el análisis de varianza previo. Dos novillas no pudieron completar el experimento. Se procedió a ignorar los datos recolectados de estas novillas.

RESULTADOS

Comparación entre tratamientos orales

Para todas las variables evaluadas, excepto el IP y la GDP, se observó un efecto significativo ($p < 0,05$) del tiempo, debido al crecimiento de los valores a través de las mediciones. El uso de un suplemento mineral oral no afectó ($p > 0,05$) el peso, la GDP, ni las medidas zoométricas (con excepción de ANC) en las condiciones evaluadas, al compararlo con un grupo que consumió solamente sal blanca (Figura 2).

Se observó una interacción significativa entre tratamiento y tiempo para el ANC, que indica que los animales suplementados (T1) presentaron un desarrollo óseo más acelerado en el área pélvica que los animales no suplementados (T0), llegando a una diferencia de máxima de $2,3 \pm 0,6$ cm a los 126 días del experimento (~14 meses de edad), misma que se desvaneció al finalizar la prueba ($-0,1 \pm 0,8$ cm a los ~18 meses de edad).

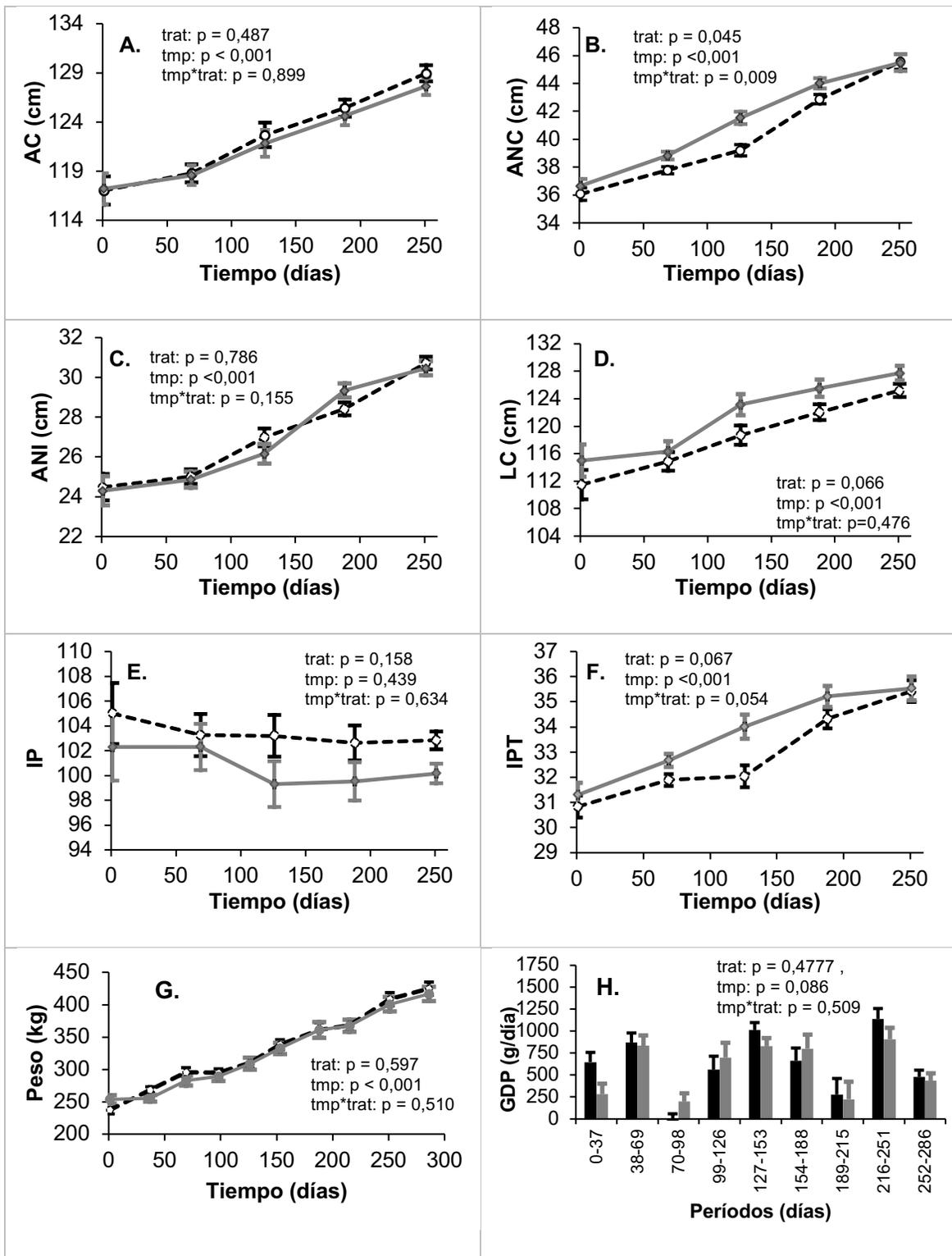


Figura 2. Medidas e índices zoométricos a través del tiempo (medias \pm EE) para los grupos T0 (---○---) y T1 (---●---), en la evaluación del efecto de la suplementación oral en novillas cruzadas *Bos taurus* \times *Bos indicus*. A) Altura a la cruz. B) Ancho de caderas. C) Ancho de isquiones D) Largo del cuerpo E) Índice de proporcionalidad. F).

Índice pelviano transversal. G) Peso. H) Ganancia diaria de peso. Trat: tratamiento, tmp: tiempo, tmp*trat: interacción tiempo*tratamiento. Guápiles, Costa Rica. Abril 2014-Enero 2015.

Comparación de tratamientos parenterales

La comparación del efecto de los tratamientos inyectables en el peso, la ganancia de peso y las medidas zoométricas se resume en la Figura 3. Para todas las variables se encontró un efecto significativo del tiempo, que indica que hubo diferencias entre los diferentes momentos de medición.

El IP se mostró afectado por el tratamiento, el tiempo y la interacción entre el tratamiento y tiempo (Figura 3). El grupo T2 mostró valores superiores a los otros grupos a partir de los 126 días (~14 meses de edad). Por su parte, las novillas del tratamiento T3 presentaron, al inicio del experimento, valores 4,7 unidades de IP por encima a los las novillas del grupo T1 perdieron dicha ventaja con el avance del experimento (Figura 3).

Evaluación de las dietas

Se determinó que los animales que consumieron únicamente sal blanca recibieron una dieta con niveles sub-óptimos de calcio, niveles moderados de magnesio y fósforo, así como excesos de potasio y sodio (Cuadro 3). La dieta provista se mostró deficiente en zinc, cobre, selenio y cobalto, con base en las indicaciones de Valadares-Filho et al. (2010) (Figura 4). Sin embargo, cálculos a partir de Suttle (2010) señalan que el nivel de Zn podría ser óptimo y el de Cu mucho más deficiente de lo indicado, por los altos niveles de Mo. Todas las deficiencias se cubrieron con 60 g de SMO/animal/día.

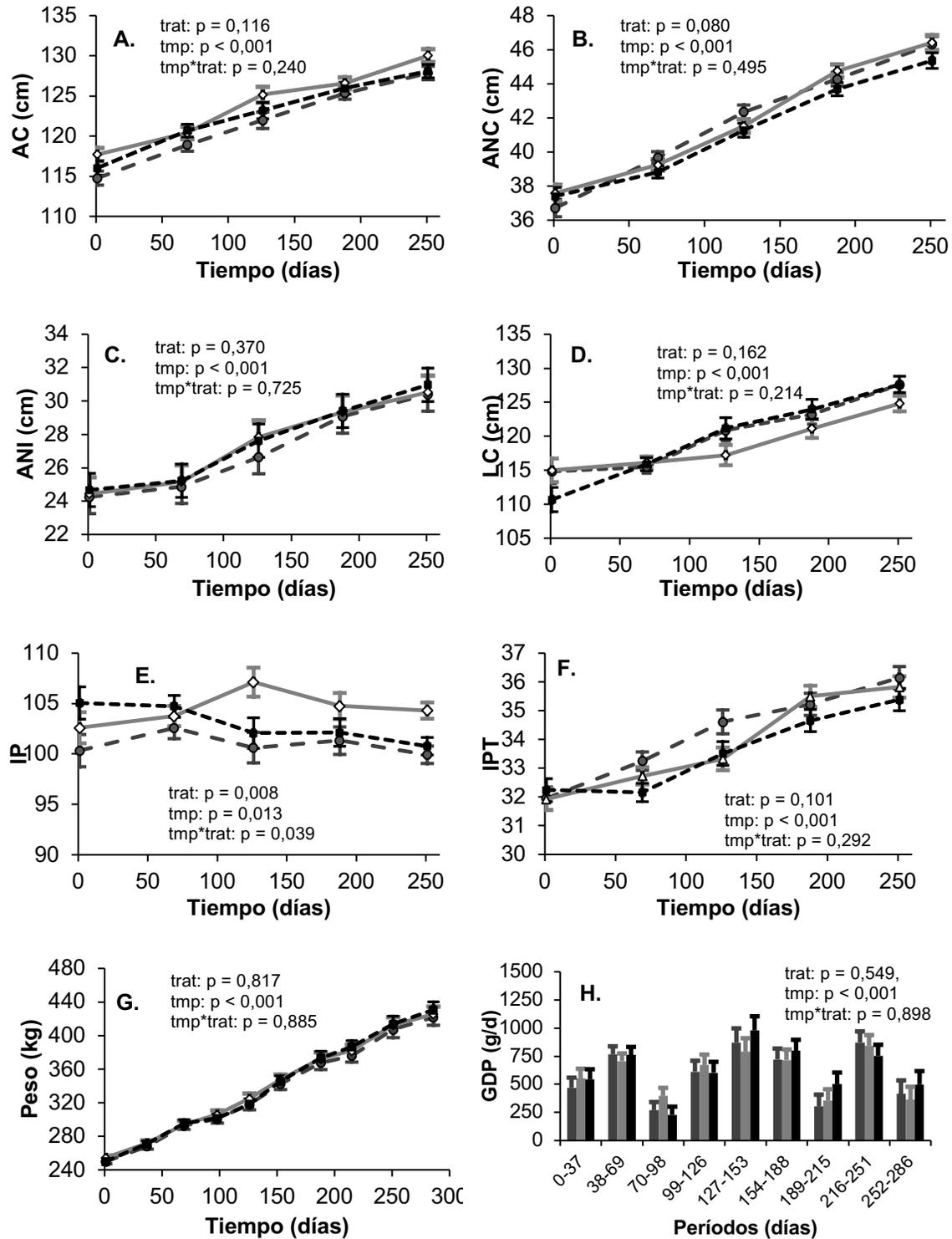


Figura 3. Medidas e índices zoométricos a través del tiempo (medias \pm EE) para los grupos T1 (●-), T2 (◇-) y T3 (■-) en la evaluación del efecto de la suplementación parenteral en novillas cruzadas *Bos taurus* \times *Bos indicus*. A) Altura a la cruz B) Ancho de caderas C) Ancho de isquiones D) Largo del cuerpo E) Índice de

proporcionalidad F) Índice pelviano transversal, G) Peso Vivo, H) Ganancia Diaria de Peso. Trat: tratamiento, tmp: tiempo, tmp*trat: interacción tiempo*tratamiento. Guápiles, Costa Rica. Abril 2014-Enero 2015.

Cuadro 3. Cantidades consumidas y absorbidas de macrominerales y requerimientos, asumiendo diferentes niveles de consumo de suplementos minerales, para novillas cruzadas *Bos taurus* × *Bos indicus*, de 250 kg (peso representativo de Fase 1) y 400 kg (peso representativo de Fase 2). Guápiles, Costa Rica. Abril 2014-Enero 2015.

	Suplemento Consumido	Aportes de elementos (g/día)			Cantidad absorbida (g/día)	Requerimiento Neto (g/día)			
		Supl.	Dieta	Total		250 kg		400 kg	
						Mant. ¹	Gan. ²	Mant. ¹	Gan. ²
Ca	60 g NaCl	0,0	9,9	9,9	5,4	3,9	11,0	6,2	9,7
	60 g SMO	6,9	9,9	16,8	11,9	3,9	11,0	6,2	9,7
	80 g SMO	9,2	9,9	19,1	14,1	3,9	11,0	6,2	9,7
P	60 g NaCl	0,0	19,4	19,4	13,2	4,4	6,1	7,0	5,3
	60 g SMO	5,4	19,4	24,8	17,2	4,4	6,1	7,0	5,3
	80 g SMO	7,2	19,4	26,6	18,6	4,4	6,1	7,0	5,3
Na	60 g NaCl	24,0	1,8	25,8	23,5	1,5	1,2	2,4	1,2
	60 g SMO	12,0	1,8	13,8	12,6	1,5	1,2	2,4	1,2
	80 g SMO	16,0	1,8	17,8	16,2	1,5	1,2	2,4	1,2
K	60 g NaCl	-	185,9	185,9	185,9	27,3	2,1	42,5	2,5
	60 g SMO	-	185,9	185,9	185,9	27,3	2,1	42,5	2,5
	80 g SMO	-	185,9	185,9	185,9	27,3	2,1	42,5	2,5
Mg	60 g NaCl	0,0	11,6	11,6	1,9	0,7	0,3	1,1	0,3
	60 g SMO	0,9	11,6	12,5	2,6	0,7	0,3	1,1	0,3
	80 g SMO	1,2	11,6	12,8	2,9	0,7	0,3	1,1	0,3

SMO: suplemento mineral oral. NaCl: cloruro de sodio. ¹Requerimiento neto de mantenimiento. ²Requerimiento neto para ganancia de 1 kg diario. / SMO: mineral oral supplement. NaCl: sodium chloride. ¹Net maintenance requirement. ²Net requirement for the gain of 1 kg/day.

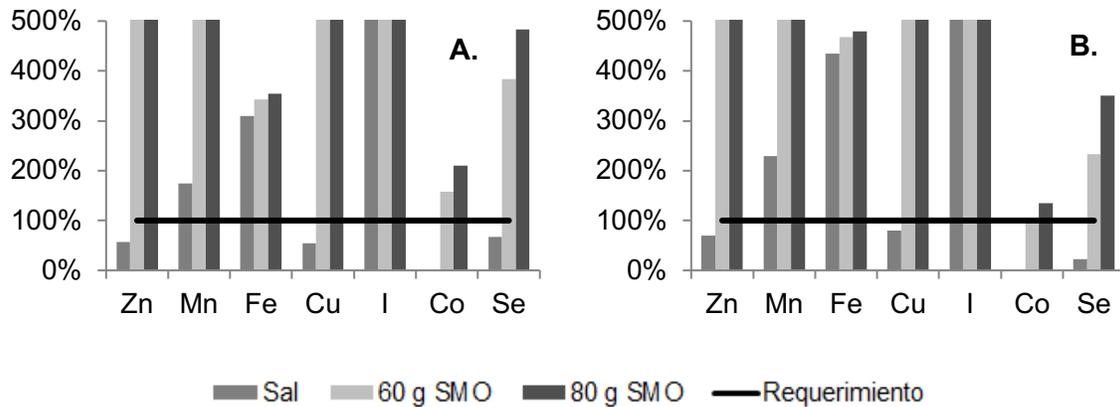


Figura 4. Porcentajes de cumplimiento de necesidades de microminerales. A. Para un animal de 250 kg durante la Fase 1. B. Para un animal de 400 kg durante la Fase 2. Guápiles, Costa Rica. Abril 2014-Enero 2015.

DISCUSIÓN

Comparación entre tratamientos orales

El presente estudio no se observaron diferencias significativas del uso de un suplemento mineral oral en la ganancia de peso ni se observaron signos de deficiencias de minerales; sin embargo, esto no debe ser usado como base para afirmar que la suplementación mineral es innecesaria en condiciones costarricenses. Las variables analizadas en el presente estudio fueron escogidas por su importancia económica, mas no por su sensibilidad a los niveles de nutrición mineral en los animales (Suttle 2010), además, los síntomas de deficiencias subclínicas en algunos micronutrientes no son fácilmente observables (López-Alonso 2012).

La falta de respuesta en el peso y la ganancia diaria de peso ante el uso de un suplemento multimineral oral, coincide con resultados de Depablos et al. (2009), quienes, a través de un período de 242 días, encontraron efectos del tiempo mas no del tratamiento al comparar los pesos y ganancias de peso de novillas en pastoreo suplementadas con sal blanca o minerales. Tampoco Moriel y Arthington (2013) encontraron efecto del uso de suplementos multiminerales en los pesos y las ganancias de peso de novillas, durante las fases de desarrollo y engorde en confinamiento, al compararlos con animales sin suplementación. Una dosis extra de fósforo oral tampoco afectó las medidas de CT, AG, AC y LC, en novillas lecheras (Esser et al. 2009).

Al analizar la dieta del grupo T0, los nutrientes deficientes en el grupo fueron, de mayor a menor, el Co, Ca, Se y Cu. Aunque el Co estuvo por debajo de los niveles de detección del método analítico usado, no se observaron signos de deficiencia, por lo cual se supone un nivel marginal de Co en la dieta (0,03-0,06 mg/kg, Suttle 2010). El nivel de calcio suplido permitiría una ganancia de 140-160 g/día (Valadares-Filho et al. 2010), por lo cual, dicho nutriente debería ser limitante, ya que los aportes de proteína y energía permitían ganancias mayores a 950 g/día. Sin embargo, se observó un crecimiento de $625,6 \pm 36,6$ g/día. No se analizó el agua de bebida, pero de acuerdo con Borges (2016) el agua del Cantón de Pococí es blanda, con menos de 60 mg de CaCO_3/L , por lo cual es poco probable que esta sea la razón.

Una posible hipótesis es que los animales hayan absorbido más calcio que se supuso en el análisis de las dietas. Valadares-Filho et al. (2010) recomiendan usar un coeficiente de absorción de 0,55 para este mineral. Sin embargo, indican un rango de variación de dicho coeficiente de 0,3 a 0,91. Si se usara un valor de 0,91 se podrían esperar ganancias de hasta 684 g/día, similares a lo observado en el presente trabajo.

Un resultado similar obtuvo Costa-e-Silva et al. (2015), quienes no observaron diferencias de GDP entre bovinos Nelore que consumieron suficiente Ca para ganar 600-700 g/día y otros con niveles que permitían 200 a 300 g/día, pues ambos grupos presentaron GDP de 370 g/día. Esto señala que podría hacer falta una mejor comprensión del metabolismo del calcio y los factores que afectan su absorción.

Por otro lado, la suplementación mineral oral mejoró el desarrollo de la anchura de caderas, lo cual hace pensar en un desarrollo temprano de la pelvis que favorece la facilidad de parto y una mayor capacidad para la deposición de músculo en el cuarto trasero. Las novillas del grupo T1 mostraron un desarrollo más acelerado de la pelvis, con un ANC de uno a dos centímetros superior entre los 12 y 16 meses de edad, en comparación con el grupo T0. Wójcik y Kruk (2010) indican que por cada centímetro que aumente el ANC, se reduce en 6% la probabilidad de un parto distócico, esto para ganado Holstein. Sin embargo, al considerar la temprana edad a la que se dieron dichas diferencias en ANC y que más tarde estas diferencias se redujeron, no parece ser beneficioso, al menos desde el punto de vista de promover la facilidad de parto.

Comparación de tratamientos parenterales

Mientras un inyectable fosforilcolamina, selenio, yodo y zinc no tuvo efecto en las variables evaluadas, otro inyectable, compuesto por butafosfán y cianocobalamina, presentó un aumento significativo en el índice de proporcionalidad. Este índice señala la relación entre altura a la cruz y largo del cuerpo, que se espera menor en animales de aptitud cárnica, porque su cuerpo se aproxima a un cuadrado, por lo tanto, valores mayores indican un cuerpo más

adaptado a una producción lechera que un sistema de producción cárnica (Parés-Casanova 2009).

Es difícil explicar las diferencias observadas en el IP debidas a la suplementación con cianocobalamina y butafosfán, ya que los efectos reportados se asocian, principalmente, al metabolismo energético. Hansel et al. (1992) indican que aumenta la gluconeogénesis y mejora la utilización de la glucosa en tejidos periféricos en novillas lecheras. Por su parte, Kreipe et al. (2011) hallaron que, en vacas sanas, el uso de inyectables basados en butafosfán y cianocobalamina aumenta la expresión del gen ACSL1, relacionado con la oxidación de ácidos grasos en el hígado. Esto coincide con Füll et al. (2010), quienes indican que estos productos mejoran la disponibilidad de la glucosa y disminuyen la movilización de ácidos grasos y la formación de cuerpos cetónicos en vacas lecheras post-parto. Además, la cianocobalamina actúa como cofactor de la enzima Metil-Malonil Coenzima A Mutasa que participa en la transformación del propionato en succinato y en la síntesis de ácido fólico y metionina (Suttle 2010).

No se encontró efecto del uso ninguno de los dos suplementos inyectables en la ganancia de peso. Esto contrasta con los resultados de Arthington et al. (2014), quienes encontraron ganancias de peso diarias 50 gramos superiores en novillas que recibieron un inyectable con Zn, Cu, Mn y Se; y los resultados de Silva et al. (2009), para los cuales la aplicación de una solución de butafosfán y cianocobalamina mejoró significativamente las ganancias de peso en novillos en engorde. Al parecer, salvo en casos de deficiencias marcadas, los efectos de suplementos parenterales en el peso son difíciles de observar. Diversos autores (Chourfi et al. 2011; Pogge et al. 2012; Arthington et al. 2014; Genter y Hansen 2014a; 2014b) encontraron beneficios del uso de suplementos inyectables en la respuesta inmunológica, la respuesta antioxidante y la acumulación de minerales en hígado, plasma y huesos; esto, a pesar de que en la mayoría de los estudios citados las respuestas en el peso no fueron significativas.

CONSIDERACIONES FINALES

No se encontró efecto de la suplementación mineral oral en el peso o índices zoométricos evaluados en novillas *Bos taurus* × *Bos indicus*; sin embargo, el desarrollo del ancho de caderas se aceleró en las novillas suplementadas. La suplementación mineral parenteral no aportó beneficio en novillas suplementadas oralmente, más bien desmejoró indicadores de rendimiento cárnico.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero de FUNDEVI (Fundación de la Universidad de Costa Rica para la Investigación), y los productos provistos por Bayer S.A. de Costa Rica. Ninguna de las instituciones mencionadas participó en el diseño, recolección y análisis de los datos o redacción del artículo. De igual forma, se agradece a Anyerleny Herrera, Gustavo Ruiz, Ronald Barrientos y Marcel Quesada su colaboración en la recolección de los datos.

LITERATURA CITADA

- Alonso, J., Rodríguez-Castañón, A., & Bahamonde, A. (2013). Support Vector Regression to predict carcass weight in beef cattle in advance of the slaughter. *Comput. Electron. Agric.* 91:116-120. doi:10.1016/j.compag.2012.08.009
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). (2012). *Official methods of analysis*. AOAC, Rockville, MA, USA.
- Arthington, J.D., Moriel, P., Martins, P.G., Lamb, G.C., & Havenga, L.J. (2014). Effects of trace mineral injections on measures of performance and trace mineral status of pre- and post-weaned beef calves. *J. Anim. Sci.* 92:2630-2640. doi:10.2527/jas.2013-7164
- Blanchflower, J.W., Cannavan, A., & Kennedy, D.G. (1990). Determination of trace amounts of cobalt in feed grains and forages by solvent extraction and graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Analyst* 115:1323-1325. doi:10.1039/AN9901501323
- Borges, N. (2016). Estudio exploratorio sobre la implicación de la dureza del agua para consumo humano en algunas enfermedades de la población de Costa Rica, en el periodo del 2007 al 2013. Tesis Licenciatura, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Chourfi, Y., Girard, V., Fournier A., & Couture, Y. (2011). Effect of subcutaneous selenium injection and supplementary selenium source on blood selenium and glutathione peroxidase in feedlot heifers. *Can. Vet. J.* 52:1089-1094.
- Clarke, A.M., Drennan, M.J., McGee, M., Kenny, D.A., Evans, R.D., & Berry, D.P. (2009a). Live animal measurements, carcass composition and plasma hormone and metabolite concentrations in male progeny of sires differing in genetic merit for beef production. *Animal* 3:933-945. doi:10.1017/S1751731109004327

- Clarke, A.M., Drennan, M.J., McGee, M., Kenny, D.A., Evans, R.D., & Berry, D.P. (2009b). Intake, live animal scores/measurements and carcass composition and value of late-maturing beef and dairy breeds. *Livest. Sci.* 126:57-68. doi: 10.1016/j.livsci.2009.05.017
- Conroy, S.B., Drennan, M.J., Kenny, D.A., & McGee, M. (2009). The relationship of live animal muscular and skeletal scores, ultrasound measurements and carcass classification scores with carcass composition and value in steers. *Animal* 3:1613-1624. doi:10.1017/S1751731109990395
- Costa-e-Silva, L.F., Engle, T.E., Valadares-Filho, S.C., Rotta, P.P., Valadares, R.F.D., Silva, B.C., & Pacheco, M.V.C. (2015). Intake, apparent digestibility, and nutrient requirements for growing Nellore heifers and steers fed two levels of calcium and phosphorus. *Livest. Sci.* 181:17-24. doi:10.1016/j.livsci.2015.09.024
- Curtis, P.R., & Grusovin, J. (1985). Determination of molybdenum in plant tissue by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry (GFAAS). *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 16:1279-1291. doi:10.1080/00103628509367686
- De-Paula, N.F., Tedeschi, L.O., Paulino, M.F., Fernandes H.J., & Fonseca, M.A. (2013). Predicting carcass and body fat composition using biometric measurements of grazing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 91:3341-3351. doi:10.2527/jas.2012-5233
- Depablos, L., Ordóñez, J., Godoy, S., & Chicco, C.F. (2009). Suplementación mineral proteica de novillas a pastoreo en los Llanos Centrales de Venezuela. *Zootec. Trop.* 27:249-262.
- Esser, N.M., Hoffman, P.C., Coblenz, W.K., Orth, M.W., & Weigel, K.A. (2009). The effect of dietary phosphorus on bone development in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 92:1741-1749. doi: 10.3168/jds.2008-1789.
- Fürll, M., Deniz, A., Westphal, B., Illing, C., & Constable, P.D. (2010). Effect of multiple intravenous injections of butaphosphan and cyanocobalamin on the metabolism of periparturient dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93:4155-4164. doi:10.3168/jds.2008-1789
- Genther, O., & Hansen, S. (2014a). A multielement trace mineral injection improves liver copper and selenium concentrations and manganese superoxide dismutase activity in beef steers. *J. Anim. Sci.* 92:695-704. doi:10.2527/jas.2013-7066
- Genther, O., & Hansen, S. (2014b). Effect of dietary trace mineral supplementation and a multi-element trace mineral injection on shipping response and growth performance of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 92:2522-2530. doi:10.2527/jas.2013-7426

- Grace, N.D., & Knowles, S.O. (2012). Trace element supplementation of livestock in New Zealand: Meeting the challenges of free-range grazing systems. *Vet. Med. Int.* 2012, doi: 10.1155/2012/639472.
- Hansel, A., Fuhrmann, H., Sallmann, H.-P., & Klee, W. (1992). Infusión intravenosa de ácidos grasos volátiles como prueba de estrés metabólico para comprobar los posibles efectos del butafosfan sobre el metabolismo energético del ganado. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.* 105:361-366.
- Herrera, C. (2002). Evaluación del valor nutricional de los residuos agroindustriales energéticos altos en humedad utilizados para la alimentación del ganado bovino en Costa Rica. Tesis Lic., UCR, San José, CRC.
- Hoover, W.L., Melton, J.R., & Howard, P.A. (1971). Determination of iodide in feeds and plants by ion-selective electrode analysis. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 54:760-763.
- Holdridge, L.R. (1967). Life zone ecology. Tropical Science Center, San José, CRC.
- Keselman, H. J., Algina, J., Kowalchuk, R. K., & Wolfinger, R. D. (1998). A comparison of two approaches for selecting covariance structures in the analysis of repeated measurements. *Commun. Stat.-Simul. C.* 27:591-604. Doi: 10.1080/03610919808813497
- Kowalchuk, R. K., Keselman, H. J., Algina, J. & Wolfinger, R. D. (2004). The Analysis of Repeated Measurements with Mixed-Model Adjusted F Tests. *Educ. Psychol. Meas.*, 64(2): 224-242. doi:10.1177/0013164403260196
- Kreipe, L., Deniz, A., Bruckmaier, R.M., & Van Dorland, H.A. (2011). First report about the mode of action of combined butafosfan and cyanocobalamin on hepatic metabolism in nonketotic early lactating cows. *J. Dairy Sci.* 94:4904-4914. doi: 10.3168/jds.2010-4080
- Littel, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W., Wolfinger, R. D., & Schabenberger, O. (2006). SAS for Mixed Models Cary. SAS Institute, NC, USA.
- López-Alonso, M. (2012). Trace minerals and livestock: Not too much, not too little. *ISRN Vet. Sci.* article id. 704825. doi: 10.5402/2012/704825.
- Mata, L. (2011). Tabla de composición de materias primas usadas en alimentos para animales. Sistema Editorial de Difusión Científica de la Información, San José, CRC.
- McDowell, L.R., & Arthington, J.D. (2005). Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. 4ª ed. Univ. de Florida, Gainesville, FL, USA.

- Mora, R., Herrera, A., Sánchez, D., Chicco, C., Godoy, S. & Depablos, L. (2010a). Suplementación parenteral con cobre y zinc en vacunos machos mestizos Brahman en los Llanos Occidentales de Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (UCV)* 36(3):83-94.
- Mora, R., Herrera, A., García, M., Chicco, C., & Pérez, R. (2010b). Suplementación parenteral con cobre y zinc en vacunos Brahman en crecimiento en la región sur occidental de Venezuela. *Rev. Cien. FCV-LUZ* 20:519-528.
- Moriel, P. & Arthington, J.D. (2013). Effects of trace mineral-fortified, limit-fed preweaning supplements on performance of pre- and postweaned beef calves. *J. Anim. Sci.* 91:1371-1380. doi:10.2527/jas.2012-5469.
- NRC (National Research Council, US). (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7 ed. rev. National Academy Press, WA, USA..
- Parés-Casanova, P.M. (2009). Zoometría. En: C. Sañudo, editor, *Valoración morfológica de los animales domésticos*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, ESP. p. 171-198.
- Pogge, D.J., Richter, E.L., Drewnoski, M.E., & Hansen, S.L. (2012). Mineral concentrations of plasma and liver after injection with a trace mineral complex differ among Angus and Simmental cattle. *J. Anim. Sci.* 90:2692-2698. doi:10.2527/jas.2012-4482
- Pogorzelska-Przybyłek, P., Nogalski, Z., Wielgosz-Groth, Z., Winarski, R., Sobczuk-Szul, M., Łapińska, P., & Purwin, C. (2014). Prediction of the carcass value of young Holstein-Friesian bulls based on live body measurements. *Ann. Anim. Sci.* 14:429-439. doi:10.2478/aoas-2014-0004
- Rodríguez-Campos, L.A., & Ruiz-Sánchez, G. (2015). Efecto de suplementos minerales sobre el desarrollo corporal y reproductivo de hembras bovinas. *Nutr. Anim. Trop.* 9(2):57-87. doi:10.15517/nat.v9i1.19392
- Sánchez, J.M., & Soto, H. (1999a). Calidad nutricional de los forrajes de una zona con niveles medios de producción de leche, en el trópico húmedo del Norte de Costa Rica. *Agron. Costarricense* 23(2):165-171.
- Sánchez, J.M., & Soto, H. (1999b). Niveles de energía estimada en los forrajes de un distrito de mediana producción lechera, Fortuna de San Carlos en la Zona Norte de Costa Rica. *Agron. Costarricense* 23(2):179-185.

SAS Institute Inc. (2011). Base SAS® 9.3 Procedures Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Sierra, I. (2009). Importancia de la morfología y su valoración en los animales domésticos. En: C. Sañudo, editor, Valoración morfológica de los animales domésticos. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, ESP. p. 23-48.

Silva, C.R., Carvalho, F.S., & Pulga, M.R. (2009). Evaluación de la ganancia de peso en bovinos confinados tras la aplicación del producto Catosal® B12. (En Portugués) A Hora Veterinária 29(169):27-30.

Suttle, N.F. (2010). Mineral Nutrition of Livestock. 4th ed. CAB International, Wallingford, GBR.

Valadares Filho, S.C., Marcondes, M.I., Chizzotti, M.L., & Paulino, P.V.R. (2010). Requerimientos nutricionales del ganado cebú puro y cruzado BR-CORTE. (En Portugués) 2ª ed. Universidade Federale de Viçosa, BRA.

Wójcik, P. & Kruk, M. (2010). The use of zoometric measurements of cows for determination of rump conformation and course of parturition. Ann. Anim. Sci. 10:249-260.