

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS

ESCUELA DE ZOOTECNIA

Efecto de la suplementación mineral sobre el crecimiento y el desarrollo corporal de novillas *Bos taurus* × *Bos indicus*

Luis Alejandro Rodríguez Campos

Tesis presentada para optar por el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

2015

Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Zootecnia de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Zootecnia

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| _____                                 | Director a.í. de la Escuela<br>Director de Tesis |
| M. Sc. Carlos Arroyo Oquendo          |  |
| _____                                 |  |
| Ing. Agr. Juan Ignacio Herrera Muñoz  | Miembro del tribunal                             |
| _____                                 |  |
| M. Sc. Daniel Carballo Guerrero, MVZ  | Miembro del tribunal                             |
| _____                                 |  |
| M. Sc. Fabio Blanco Rojas             | Miembro del tribunal                             |
| _____                                 |  |
| Ing. Agr. Alejandro Saborío Montero   | Miembro del tribunal                             |
| _____                                 |  |
| Bach. Luis Alejandro Rodríguez Campos | Sustentante                                      |

## DEDICATORIA

A Dios, que me ha colmado de bendiciones a pesar de mis iniquidades.

A mis padres Juan Antonio y Carmen, mis hermanos Juan Pablo y Ericka, abuelos, tíos y demás familiares que me apoyan y me hacen sentir orgulloso.

A Anyerleny, con cariño, que me ha inspirado y me ha ayudado a crecer.

A mis compañeros de generación (*Pao, Rolo, John, Meli, Cabo, Burgos, Wicho, Joyce, Eka, Tavo, Marcel, Mari, Andre, Adrián, Sol*) y a todas las excelentes personas que conocí en la Escuela de Zootecnia, compartir con ustedes fue un gran aprendizaje.

A mis profesores, que todos fueron para mí ejemplos de cómo llevar a cabo la vida profesional.

A mi ex-profesor, amigo y ejemplo de vida, Adolfo Montero.

A todos mis amigos de la Pastoral Juvenil de Desamparados, quienes me han acompañado en mi crecimiento personal.

Al productor agropecuario costarricense, que ha sido dejado en el olvido por los pésimos gobiernos de este país.

Que este humilde trabajo sirva como una forma de hacerles honor por cuanto significan en mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no habría podido llevado a feliz término sin el apoyo de las siguientes personas y entidades:

- Mis padres, Juan Antonio y Carmen por su apoyo económico, emocional y logístico.
- Los profesores Carlos Arroyo, Juan Ignacio Herrera y Róger Molina, que confiaron en mí para realizar la tesis, me guiaron y me ayudaron en todo momento.
- Los muchachos de la Finca Experimental de Producción Animal de la UCR (*Memo, Zorro, Suerre, Rigo, Óscar y Gerardo*) porque siempre estuvieron dispuestos a ayudar, nos enseñaron los trucos necesarios para el manejo de los animales e hicieron el rato ameno.
- Don Fabio Blanco, por su asesoría en el análisis estadístico y sus correcciones al trabajo.
- Al Dr. Daniel Carballo por sus amables sugerencias a esta tesis.
- Don Augusto Rojas por sus consejos y por su colaboración con los análisis químicos, así como a todo el personal del Centro de Investigaciones en Nutrición Animal.
- Gustavo Ruiz, Anyerleny Herrera, Ronald Barrientos y Marcel Quesada; ya que estuvieron dispuestos a acompañarme a Guápiles a las largas sesiones de pesaje y medición; por pura amistad.
- FUNDEVI y Bayer de Costa Rica, por el apoyo económico para la realización de la tesis.

# ÍNDICE

| <b>CONTENIDO</b>  | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| PORTADA   | I             |
| HOJA DE APROBACIÓN  | II            |
| DEDICATORIA   | III           |
| AGRADECIMIENTOS   | IV            |
| ÍNDICE  | V             |
| ÍNDICE DE CUADROS   | VII           |
| ÍNDICE DE FIGURAS   | VII           |
| ÍNDICE DE ANEXOS  | XIII          |
| LISTA DE ABREVIATURAS   | XIV           |
| RESUMEN   | XVI           |
| 1. INTRODUCCIÓN   | 1             |
| 2. OBJETIVOS  | 4             |
| 2.1 General   | 4             |
| 2.2 Específicos   | 4             |
| 3. REVISIÓN DE LITERATURA   | 5             |
| 3.1 El desarrollo de reemplazos en la ganadería bovina                                      | 5             |
| 3.2 La zoometría y su importancia en la ganadería bovina                                    | 9             |
| 3.3 Uso de imágenes ultrasonográficas para el monitoreo de la deposición de grasa y músculo | 15            |
| 3.4 Necesidad de la suplementación mineral en los bovinos en crecimiento                    | 17            |
| 3.5 Ensayos en suplementación mineral   | 21            |
| 3.5.1 Suplementación oral de minerales específicos  | 22            |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.5.2 | Suplementación multimineral oral                               | 24 |
| 3.5.3 | Combinación de suplementos minerales orales e inyectables      | 27 |
| 3.5.4 | Estudios con los suplementos parenterales por evaluar          | 30 |
| 4.    | PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA                                    | 33 |
| 4.1   | Manejo general   | 33 |
| 4.2   | Distribución de los animales y descripción de los tratamientos | 35 |
| 4.3   | Mediciones   | 35 |
| 4.4   | Análisis estadístico   | 36 |
| 5.    | RESULTADOS Y DISCUSIÓN   | 38 |
| 5.1   | Resultados   | 38 |
| 5.1.1 | Comparación entre tratamientos orales                          | 38 |
| 5.1.2 | Comparación de tratamientos parenterales                       | 45 |
| 5.2   | Discusión  | 50 |
| 6.    | CONCLUSIONES   | 67 |
| 7.    | RECOMENDACIONES  | 69 |
| 8.    | LITERATURA CITADA  | 71 |

## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | Título  | Página |
|--------|---|--------|
| 1.     | Edad y peso a la pubertad (detección del primer cuerpo lúteo) en hembras bovinas de diferentes razas.   | 6      |
| 2.     | Efecto de diferentes ganancias diarias de peso (GDP) sobre parámetros físicos y reproductivos de novillas de carne.   | 8      |
| 3.     | Fórmulas e importancia productiva de algunos índices zoométricos  | 14     |
| 4.     | Requerimiento nutricional total (g/día) de macrominerales para ganado cruzado <i>Bos taurus</i> × <i>Bos indicus</i> en confinamiento, con diferentes pesos y ganancias diarias de peso (GDP) <sup>1</sup>                        | 20     |
| 5.     | Requerimientos nutricionales totales (mantenimiento + ganancia, mg/kg MS) de microminerales según varios autores, coeficientes de absorción (CA, %) y factores que aumentan (+) o disminuyen (-) la absorción según Suttle (2010) | 21     |
| 6.     | Alimentación durante las fases de desarrollo y engorde.   | 33     |
| 7.     | Descripción de los alimentos balanceados empleados en el experimento.   | 34     |
| 8.     | Composición nutricional de los alimentos empleados.   | 34     |
| 9.     | Aporte de minerales de los tratamientos parenterales evaluados.   | 35     |
| 10.    | Medias, errores estándar y valores-p asociados a la comparación de las medias de peso, ganancia diaria de peso y medidas zoométricas, en novillas <i>Bos taurus</i> × <i>Bos indicus</i>  | 38     |

suplementadas con un multimineral oral (CON6) o con sal blanca (SAL). Guápiles, Costa Rica.

11. Medias, errores estándar y valores-p asociados a la comparación de las medias de índices zoométricos, área de ojo de lomo y profundidad de la grasa dorsal, en novillas *Bos taurus* × *Bos indicus* suplementadas con un multimineral oral (CON6) o con sal blanca (SAL). Guápiles, Costa Rica. 42
12. Medias, errores estándar y valores-p asociados a la comparación de las medias de peso, ganancia diaria de peso y medidas zoométricas, en novillas *Bos taurus* × *Bos indicus* suplementadas únicamente con un multimineral oral (CON) o con este más dos soluciones parenterales (CAT y CLF). Guápiles, Costa Rica. 45
13. Medias, errores estándar y valores-p asociados a la comparación de las medias de índices zoométricos, área de ojo de lomo y profundidad de la grasa dorsal, en novillas *Bos taurus* × *Bos indicus* suplementadas únicamente con un multimineral oral (CON) o con este más dos soluciones parenterales (CAT y CLF). Guápiles, Costa Rica. 49
14. Consumo estimado de componentes de la dieta base y total de la dieta en términos de materia fresca (MF), materia seca (MS), proteína cruda (PC), energía metabolizable (EM), cenizas y minerales durante las dos fases del desarrollo de las novillas. 57
15. Coeficientes de absorción asumidos en la simulación. 57
16. Aportes y cantidades absorbidas de macrominerales, en comparación con los requerimientos para mantenimiento ( $RN_M$ ) 58

y ganancia de peso ( $RN_G$ ), a partir de diferentes consumos asumidos de suplementos minerales orales, para una hembra cruzada *Bos taurus* × *Bos indicus* de 250 kg de peso vivo.

17. Aportes y cantidades absorbidas de macrominerales, en comparación con los requerimientos para mantenimiento ( $RN_M$ ) y ganancia de peso ( $RN_G$ ), a partir de diferentes consumos asumidos de suplementos minerales orales, para una hembra cruzada *Bos taurus* × *Bos indicus* de 400 kg de peso vivo. 59
18. Cantidad de microminerales aportada por la dieta y la suplementación mineral, a partir de diferentes niveles de consumo de suplementos minerales, en comparación con el requerimiento para animales de 250 kg de peso vivo, con un consumo de 5,7 kg de materia seca por día. 61
19. Cantidad de microminerales aportada por la dieta y la suplementación mineral, a partir de diferentes niveles de consumo de suplementos minerales, en comparación con el requerimiento para animales de 400 kg de peso vivo, con un consumo de 8,9 kg de materia seca por día. 62
20. Aporte de minerales, al momento de la aplicación y distribuidos en 30 días, por parte de los suplementos parenterales evaluados, para novillas de 250 y 400 kg de peso vivo. 64
21. Aportes y requerimientos de Proteína Cruda (PC) y Energía Metabolizable (EM) provistos mediante la dieta empleada. 65

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Número | Título  | Página |
|--------|---|--------|
| 1.     | Instrumental utilizado en la toma de medidas zoométricas. A. Bastón zoométrico. B. Cinta métrica flexible. C. Calibre de vernier o pie de rey. D. Compás de brocas. E. Pelvímetro de Rice. F. Goniómetro  | 10     |
| 2.     | Representación de algunas mediciones utilizadas en la ganadería bovina. AC: Altura a la Cruz, AG: Altura a la Grupa, LC: Longitud Corporal, LL: Longitud del Lomo, CT: Circunferencia Torácica, ANC: Ancho de caderas, ANI: Ancho de isquiones. | 10     |
| 3.     | Imagen ultrasonográfica del área de ojo de lomo (AOL) y la profundidad de la grasa dorsal (PGD).  | 16     |
| 4.     | Pesos, a través del tiempo, para los dos grupos de novillas de la prueba de suplementos orales (Media $\pm$ EE).  | 39     |
| 5.     | Ganancias diarias de peso (panel A) y circunferencia torácica (panel B), a través del tiempo, para los dos grupos de novillas de la prueba de suplementos orales (Media $\pm$ EE).  | 39     |
| 6.     | Altura a la grupa (panel A) y a la cruz (panel B), a través del tiempo, para los dos grupos de novillas de la prueba de suplementos orales (Medias $\pm$ EE).   | 40     |
| 7.     | Ancho de caderas (panel A) y entre isquiones (panel B), a través del tiempo, para los dos grupos de novillas de la prueba de suplementos orales (Media $\pm$ EE).   | 41     |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 8.  | Largo del lomo (panel A) y largo del cuerpo (panel B), a través del tiempo, para los dos grupos de novillas en la prueba de suplementos orales. (Medias $\pm$ EE)  | 42 |
| 9.  | Índices de proporcionalidad (panel A) y pelviano transversal (panel B), a través del tiempo, para los dos grupos de novillas de la prueba de suplementos orales (Medias $\pm$ EE).   | 43 |
| 10. | Índices de anamorfosis (panel A) y compacidad (panel B) a través del tiempo, para los dos grupos de novillas de la prueba de suplementos orales (Media $\pm$ EE)   | 43 |
| 11. | Valores individuales (puntos unidos por líneas) y medias grupales (barras horizontales) del área de ojo de lomo (panel A) y profundidad de la grasa dorsal (panel B), a los 25 y 119 días, para las novillas de la prueba de suplementos orales. | 44 |
| 12. | Peso, a través del tiempo, de las novillas según el tratamiento inyectable empleado (Medias $\pm$ EE)  | 46 |
| 13. | Ganancia diaria de peso (panel A) y circunferencia torácica (panel B) a través del tiempo según el tratamiento inyectable empleado (Medias $\pm$ EE)   | 46 |
| 14. | Altura a la grupa (panel A) y altura a la cruz (panel B), a través del tiempo, según el tratamiento inyectable empleado (Medias $\pm$ EE)  | 47 |
| 15. | Ancho de caderas (panel A) y ancho de isquiones (panel B) a través del tiempo, según el tratamiento inyectable empleado (Medias $\pm$ EE)  | 47 |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 16. | Largo del lomo (panel A) y largo del cuerpo (panel B), a través del tiempo, según el tratamiento inyectable empleado (Medias $\pm$ EE)  | 48 |
| 17. | Índices de proporcionalidad (panel A) y compacidad (panel B), a través del tiempo, según el suplemento inyectable aplicado (Medias $\pm$ EE)  | 49 |
| 18. | Índices de anamorfosis (panel A) y pelviano transversal (panel B), a través del tiempo, según el suplemento inyectable aplicado (Medias $\pm$ EE)   | 50 |
| 19. | Valores individuales (puntos unidos por líneas) y medias grupales (barras horizontales) del área de ojo de lomo (panel A) y la profundidad de la grasa dorsal (panel B), a los 25 y 119 días, para las novillas de la prueba de suplementos parenterales. | 50 |
| 20. | Porcentajes de cumplimiento de necesidades nutricionales para una GDG de 1 kg/día. A. Para un animal de 250 kg durante la Fase 1. B. Para una animal de 400 kg durante la Fase 2.   | 65 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

| <b>Anexo</b> | <b>Título</b>   | <b>Página</b> |
|--------------|---|---------------|
| 1.           | Informes de análisis químicos realizados en el CINA     | 85            |
| 2.           | Correlaciones entre las variables zoométricas y el peso | 94            |

## LISTA DE ABREVIATURAS

| <b>Abreviatura</b> | <b>Significado</b>   |
|--------------------|--|
| AB-1               | Alimento balanceado suministrado en la fase 1 de desarrollo (<300 kg) con 16% PC y 2,97 Mcal de EM   |
| AB-2               | Alimento balanceado suministrado en la fase 2 de desarrollo (>300 kg) con 14% PC y 3,10 Mcal de EM   |
| AC                 | Altura a la cruz   |
| AG                 | Altura a la grupa  |
| ANC                | Ancho de caderas   |
| ANI                | Ancho de isquiones   |
| AOL                | Área de ojo de lomo  |
| ATP                | Adenosín trifosfato  |
| BV                 | Banano verde de rechazo  |
| C <sub>A</sub>     | Coefficiente de absorción  |
| CAT                | Tratamiento en el cual los animales reciben un SMO y una inyección mensual con Catosal <sup>®</sup>  |
| CBM                | Cáscara de banana maduro   |
| CLF                | Tratamiento en el cual los animales reciben un SMO y una inyección mensual con Calfosvit <sup>®</sup>  |
| CMS                | Consumo de Materia Seca  |
| CON                | Tratamiento control. Animales reciben SMO y una inyección de salina como placebo.  |
| CON <sub>6</sub>   | Grupo de 6 animales escogidos del tratamiento CON para formar parte de la prueba de suplementos orales por tener pesos similares a los del grupo SAL |
| Cov                | Covariable incluida en el modelo estadístico   |
| CT                 | Circunferencia torácica  |
| DDGS               | Granos destilados secos con solubles   |
| E                  | Edad   |
| ED                 | Energía digestible   |

|                 |  |
|-----------------|--|
| EE              | Error estándar de la media   |
| EM              | Energía metabolizable  |
| GDP             | Ganancia diaria de peso  |
| IA              | Índice de anamorfosis  |
| IC              | Índice de compacidad   |
| IP              | Índice de proporcionalidad   |
| IPT             | Índice pélvico transversal   |
| KG              | Pasto king grass picado  |
| LC              | Longitud corporal  |
| LL              | Longitud del lomo  |
| MF              | Materia fresca   |
| MS              | Materia seca   |
| PC              | Proteína cruda   |
| PGD             | Profundidad de la grasa dorsal   |
| PIB             | Producto interno bruto   |
| PV              | Peso vivo  |
| RN <sub>G</sub> | Requerimiento neto de ganancia de peso                                     |
| RN <sub>M</sub> | Requerimiento neto de ganancia de mantenimiento                            |
| RN <sub>P</sub> | Requerimiento neto para producción (de leche, carne, lana...)              |
| R <sub>T</sub>  | Requerimiento total  |
| SAL             | Tratamiento de referencia, consumen sal blanca (NaCl) sin Pecutrín®        |
| SMO             | Suplemento mineral oral. Mezcla 50:50 de Pecutrín® vitaminado y sal blanca |
| Trat            | Variable Tratamiento   |
| Tmp             | Variable Tiempo  |
| VF              | Valor de formato (frame size)  |

## RESUMEN

Para evaluar el efecto de la suplementación mineral, vía oral y parenteral, en el crecimiento y el desarrollo corporal de novillas, se sometió a 42 hembras *Bos indicus* × *Bos taurus* a un sistema de desarrollo en estabulación por 286 días, en dos fases: Fase 1 (<300 kg): 5 kg de pasto King Grass, 15 kg de Banano Verde, 100 g de urea y 1,5 kg de concentrado (16%PC y 3,2 Mcal ED/kg MS). Fase 2 (>300 kg): 7 kg de pasto King Grass, 20 kg de Banano Verde, 110 g de urea y 2 kg de concentrado (14%PC y 3,3 Mcal ED/kg MS). En ambas fases se ofreció cáscara de banano maduro y agua *ad libitum*. Las novillas se asignaron aleatoriamente a cuatro tratamientos: SAL (n=6): Sal blanca como suplemento mineral + inyección de salina (placebo), CON (n=12): suplemento multimineral oral *ad libitum* (SMO, 50% Pecutrín® Bayer S.A., Costa Rica y 50% sal blanca) + salina. CAT (n=12): SMO + Catosal® (Bayer S.A., Costa Rica). CLF (n=12) SMO + Calfosvit® (Laboratorios California, Colombia). Se seleccionaron 6 novillas del grupo CON, de pesos similares a las del grupo SAL, para contrastar el efecto del SMO (grupo CON<sub>6</sub>). Las inyecciones se colocaron mensualmente a razón de 1 ml/20 kg peso vía intramuscular. El peso de las novillas fue evaluado mensualmente, así como la ganancia diaria de peso (GDP). Bimestralmente se midió la Altura a la cruz (AC), Altura a la grupa (AG), Ancho de Caderas (ANC), Ancho de Isquiones (ANI), Largo del Lomo (LL), Largo del Cuerpo (LC), y Circunferencia Torácica (CT) y se calcularon los índices de Proporcionalidad ( $IP=AC/LC \times 100$ ), Anamorfosis ( $IA=CT^2/AC \times 100$ ), Pelviano Transversal ( $IPT=ANC/AC \times 100$ ) y Compacidad ( $IC=PV/AC \times 100$ ). Los días 25 y 119 del experimento se determinaron el área de ojo de lomo (AOL) y la profundidad de la grasa dorsal (PGD). Los datos se analizaron como medidas repetidas contrastando los efectos de suplementación oral (SAL y CON<sub>6</sub>) y parenteral (CON, CAT y CLF) por separado. No se encontró efecto significativo ( $p>0,05$ ) de la suplementación mineral oral en PV, GDP, AC, AG, ANI, LL, LC, CT, IP, IA, IC, AOL y PGD pero sí sobre ANC (SAL  $41,4 \pm 0,3$ ; CON<sub>6</sub>  $42,5 \pm 0,3$ ;  $p=0,045$ ) así como de la interacción tiempo\*tratamiento ( $p=0,009$ ) pues las diferencias fueron mayores hacia la mitad del experimento. La suplementación parenteral no tuvo efecto ( $p>0,05$ ) sobre PV, GDP,

AG, AC, ANC, ANI, LL, LC, CT, IA, IC, IPT, AOL y PGD, mas sí sobre IP (CON 101,1  $\pm$ 0,9<sup>b</sup>; CAT 105,4 $\pm$ 0,8<sup>a</sup>; CLF 102,4 $\pm$ 0,9<sup>ab</sup>; p=0,009). Un análisis de aportes y requerimientos de nutrientes determinó que la dieta sin SMO fue deficiente en Co, Se, Zn, Cu y Ca, pero que 60 g de SMO permitieron llenar los requerimientos, aunque con algunos excesos de minerales. Se concluye que el SMO favorece alteraciones beneficiosas en la zona pélvica, la suplementación parenteral con Calfosvit<sup>®</sup> no afecta las variables estudiadas y el uso de Catosal<sup>®</sup> aumentó el IP lo que indica una conformación inferior en animales de para producción de carne.

## 1. INTRODUCCION

Para el año 2014, el sector agropecuario costarricense produjo 8,54% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, similar a su participación en el PIB del 2013 (8,55%) (BCCR 2015). Esto, a pesar de que el sector empleó 9,88% y 11,14% de la Población Económicamente Activa, para los años 2013 y 2014, respectivamente (BCCR 2015).

El sector de ganadería bovina de Costa Rica (carne, leche y doble propósito) representó 13,73% del PIB Agropecuario en el 2014, 9,62% corresponde a la ganadería de leche y un 4,11% a la de carne (Mora y Borbón 2014). Estos resultados demuestran una caída del sector con respecto al año 2013, en el cual representó 14,1% del PIB Agropecuario (con 9,9% producido por la ganadería de leche y 4,2% ganado de engorde) (SEPSA 2014).

En cuanto al uso de la tierra, se señala que el 47,1% del territorio nacional ( $\approx$ 2,41 millones de hectáreas) están dedicadas a actividades agropecuarias, y de estas 1,04 millones de hectáreas están dedicadas a la producción de pastos, principalmente para alimentar las 1,28 millones de cabezas de ganado que hay en el país (INEC 2015).

Los números anteriores reflejan que la ganadería bovina es un sector importante en la economía nacional, pero que adolece de una gran ineficiencia. Por ello, y en vista de los retos que enfrenta el sector agropecuario ante la apertura comercial, la presión por cuidar el medio ambiente y la necesidad de una mayor seguridad alimentaria, es que uno de los objetivos del actual gobierno es *“Aumentar el PIB agropecuario, impulsando la mejora en la productividad y el desarrollo rural sostenible”* (MIDEPLAN 2014, p. 292). Enmarcado en tal objetivo, se plantea la necesidad de que el sector bovino aumente su eficiencia, pasando de producir 28 kg de leche/ha/día en el 2013, a 36,3 kg/ha/día y de 146 kg/ha/año de carne a 189,6 kg/ha/año, ambas metas para el 2018 (MIDEPLAN 2014).

En aras de alcanzar dicha mejora en eficiencia, debe disminuirse la edad a primer parto, pues este es uno de los principales indicadores de eficiencia productiva y reproductiva en los hatos (Benítez *et al.* 2003). Menores edades a primer parto

permiten reducir costos y área de alimentación, requerir menos novillas para mantener el tamaño del hato (Salazar-Carranza *et al.* 2013) mayor producción de terneros y una vida productiva más larga (Segura-Correa *et al.* 2013).

En Costa Rica, se informan valores de edad a primer parto en bovinos para carne de 39-45 meses para la región Chorotega (Méndez 2008) y de 38,1±15,1 meses en hatos de la región Atlántica (Casas y Tewolde 2001). En hatos lecheros especializados, se alcanzan edades a primer parto de 30,7±6,8 para vacas Holstein (Salazar-Carranza *et al.* 2013) y 29,35 meses para vacas Jersey (Castillo-Badilla *et al.* 2011), lo cual representa oportunidades de mejora, ya que los valores deseados rondan los 24 meses (Salazar-Carranza *et al.* 2013).

La edad a primer parto es susceptible de ser mejorada mediante un manejo nutricional apropiado, de manera que las novillas alcancen una madurez sexual y desarrollo corporal apropiados para ser sometidas a empadre entre 13 y 17 meses de edad, con un 60-65% de su peso corporal adulto, pudiendo parir entre los 22 y 26 meses (Day y Nogueira 2013). Además una adecuada condición corporal, permite obtener animales con desarrollo sexual más temprano, los cuales deberían ser capaces de obtener edades a primer parto inferiores (Chelikani *et al.* 2003, Shaffer *et al.* 2011).

Por otro lado, las novillas que no son seleccionadas para formar parte de los hatos de cría o de leche, pueden involucrarse en los hatos para engorde y sacrificio (Camacho 2006), en donde se busca optimizar las ganancias diarias de peso con el objetivo de reducir los costos de las fases de desarrollo y engorde y minimizar el período de ocupación del terreno o instalaciones, aumentando la producción de kilogramos de carne por año (Ahola *et al.* 2005).

Se sabe que la carencia de minerales en el desarrollo de novillas podría generar retrasos en la pubertad (por ende en la edad a primer parto) y crecimiento disminuido (Ahmed *et al.* 2002), así como aumentos en las pérdidas por transporte, rendimiento de canal y puntaje de marmoleo en bovinos de engorde (Genther y Hansen 2012). Se señala, a partir de estudios en 1280 fincas centroamericanas de ganado de carne, que para el 2005 el 64% de los problemas reproductivos en

ganadería se debían a problemas nutricionales, de los cuales un 6% eran por deficiencias de minerales (Campabadal 2009)

Con esto en mente, las casas que elaboran productos de uso veterinario han desarrollado suplementos minerales, tanto orales como inyectables, que prometen favorecer el crecimiento y la fertilidad de los animales. Así, se satura de publicidad al productor, pero se carece de estudios científicos que validen la efectividad de los mismos para las condiciones costarricenses.

La Finca Experimental de Producción Animal de la Escuela de Zootecnia en Guápiles, Pococí, tiene como objetivo acelerar la mejora genética y el uso de animales mejorados a través de la implementación de biotecnologías de la reproducción, así como incentivar la mejora en la nutrición y sanidad en la ganadería de carne y doble propósito (Arroyo y Molina 2014<sup>1</sup>). De conformidad con lo anterior, se desarrolló en dicho sitio, un proyecto de investigación que evaluó el efecto de dos de los suplementos minerales inyectables disponibles en el país (Catosal<sup>®</sup> de Bayer Animal Health, Alemania, y Calfosvit<sup>®</sup> de Laboratorios California, Colombia) en el desarrollo corporal y ovárico fertilidad de novillas.

Ubicada en este contexto, la presente tesis busca conocer *¿qué efecto tiene la suplementación mineral, vía oral y parenteral, sobre el crecimiento y el desarrollo corporal en novillas, bajo condiciones del trópico muy húmedo costarricense?*, ya que con este dato, se podrían establecer recomendaciones tanto para productores como para las mismas casas comerciales sobre el uso de este tipo de productos.

---

<sup>1</sup>Arroyo C., Molina R. 2014. Objetivos y finalidades de la Finca Experimental de Producción Animal (Comunicación personal). San José, CR. Universidad de Costa Rica.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 General

Evaluar el efecto de la suplementación mineral, vía oral y parenteral, en el crecimiento y el desarrollo corporal de novillas cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus* estabuladas, en Guápiles, Pococí

### 2.2 Específicos

- 2.1.1. Cuantificar el resultado del uso de un suplemento mineral oral y dos suplementos inyectables en la ganancia de peso vivo de novillas cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus* estabuladas.
- 2.1.2. Valorar el efecto de un suplemento mineral oral y dos suplementos inyectables, sobre medidas zoométricas (altura de la cruz, altura de la grupa, longitud del lomo, longitud corporal, ancho de isquiones, ancho de iliones y circunferencia torácica) en novillas cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus* estabuladas.
- 2.1.3. Determinar el efecto de un suplemento mineral oral y dos inyectables en índices zoométricos (proporcionalidad, compacidad, pélvico transversal y anamorfosis) en novillas cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus*, bajo estabulación y sometidas a suplementación mineral oral e inyectada.
- 2.1.4. Comparar el espesor de la grasa de cobertura y el área de ojo de lomo en novillas cruzadas *Bos taurus* x *Bos indicus* que reciben un suplemento mineral oral y dos suplementos minerales inyectables.

### 3. REVISION DE LITERATURA

#### 3.1 El desarrollo de reemplazos en la ganadería bovina

La crianza de novillas para reemplazo tiene un impacto notable en la situación económica de las explotaciones bovinas, ya que en esta etapa se determina el rendimiento a lo largo de la vida productiva de las hembras, mientras estas aún no generan ingresos (Zanton y Heinrichs 2005). Esto implica que se lleven a cabo cuantiosas inversiones, que se espera recuperar lo más pronto posible durante la vida productiva de las hembras, de modo que se maximice la rentabilidad futura. Esta necesidad de pronto retorno de la inversión, es el incentivo para reducir el tiempo en que las hembras están improductivas (sin producir leche o terneros).

El objetivo de un programa de desarrollo de reemplazos ideal es obtener hembras de una edad y peso adecuado para el primer servicio, es decir, que hayan logrado un nivel de desarrollo de sus cuerpos y tracto reproductor, de manera que puedan llevar a buen término el ciclo reproductivo (celo – monta – concepción – gestación – parto – lactancia), de una forma costo-efectiva y sin efectos adversos en la posterior producción de leche o terneros (Bastidas 2002, Brickell y Wathes 2009).

Se ha establecido la recomendación general de que las novillas tengan su primer parto a una edad de 22-24 meses, pues menores edades a primer parto implican gastos económicos mayores y parecen afectar la respuesta productiva, a través de un aumento en la dificultad de los partos y un menor desarrollo mamario (Heinrichs *et al.* 2010). Para lograr este objetivo, las empresas dedicadas a la producción de ganado bovino deben lograr que sus novillas sean sometidas a empadre entre 13 y 15 meses de edad, con peso, condición corporal, desarrollo musculoesquelético y madurez sexual óptimos.

El Cuadro 1 indica algunos pesos y edades esperadas para el alcance de la pubertad (primer celo con ovulación) en diferentes razas de ganado. Aunque hay variación en estos indicadores por causa de condiciones ambientales, genéticas y nutricionales (Bastidas 1999), se considera que la edad y peso a la pubertad son caracteres de mediana a alta heredabilidad (Johnston *et al.* 2009). Debe aclararse que el primer celo no es indicador de pubertad, pues es común la ocurrencia de celos

que no conllevan a la ovulación y consecuente presencia de un cuerpo lúteo (Bastidas 1999). Además, el alcance de la pubertad no es un buen indicador de la madurez reproductiva de un animal, pues se han encontrado mejorías de hasta el 21% en tasa de concepción al comparar hembras en primer y tercer celo (Day y Nogueira 2013). Lo anterior implica que la edad a pubertad debe confirmarse mediante palpación o ultrasonografía del primer cuerpo lúteo y que a partir de esta fecha debe esperarse por lo menos 42 días para facilitar una reproducción exitosa.

Cuadro 1. Edad y peso a la pubertad (detección del primer cuerpo lúteo) en hembras bovinas de diferentes razas.

| Raza               | Peso (kg)            | Edad (d)              |
|--------------------|----------------------|-----------------------|
| Angus              | 260-295 <sup>c</sup> | 336-408 <sup>b</sup>  |
| Brahman            | 318-341 <sup>c</sup> | 429 <sup>a</sup>      |
| Brahman            | 258-341 <sup>d</sup> | 425-821 <sup>d</sup>  |
| Brahman            | 196-485 <sup>e</sup> | 394-1211 <sup>e</sup> |
| Charolais          | 320 <sup>a</sup>     | 377-419 <sup>b</sup>  |
| Chiania            | 318 <sup>a</sup>     | 384 <sup>a</sup>      |
| Gelbvieh           | 273-295 <sup>c</sup> | 314-368 <sup>b</sup>  |
| Hereford           | 273-295 <sup>c</sup> | 336-408 <sup>b</sup>  |
| Jersey             | 235 <sup>a</sup>     | 308 <sup>a</sup>      |
| Limousin           | 309 <sup>a</sup>     | 380-416 <sup>b</sup>  |
| Maine-Anjou        | 305 <sup>a</sup>     | 357 <sup>a</sup>      |
| Pardo Suizo        | 280 <sup>a</sup>     | 323-371 <sup>b</sup>  |
| Pinzgauer          | 273-295 <sup>c</sup> | 334 <sup>a</sup>      |
| Red Poll           | 264 <sup>a</sup>     | 328-376 <sup>b</sup>  |
| Sahiwal            | 292 <sup>a</sup>     | 414 <sup>a</sup>      |
| Simmental          | 303 <sup>a</sup>     | 354-390 <sup>b</sup>  |
| South Devon        | 284-307 <sup>c</sup> | 350 <sup>a</sup>      |
| Tarentaise         | 273-295 <sup>c</sup> | 349 <sup>a</sup>      |
| Tropical Composite | 206-474 <sup>e</sup> | 344-945 <sup>e</sup>  |

Elaborado a partir de <sup>a</sup>Gregory *et al.* (1982), <sup>b</sup>Corah y Hixon (1999), <sup>c</sup>Freking (2000), <sup>d</sup>Bastidas (1999) y <sup>e</sup>Johnston *et al.* (2009).

La recomendación que ha prevalecido hasta el momento es que las novillas *Bos taurus* sean sometidas a empadre al alcanzar un 65% de su peso maduro, y las *Bos indicus*, al alcanzar el 70% de su peso maduro (Bastidas 2002, Day y Nogueira

2013). Sin embargo, estudios revisados por Endecott *et al.* (2013) y otros más recientes (Stygar *et al.* 2014, Lardner *et al.* 2014) han demostrado, al menos en razas europeas, la conveniencia de utilizar metas de peso a empadre de 50 a 57% del peso adulto, obteniéndose una reducción en los costos de desarrollo y en el tamaño adulto (y por ende mayor eficiencia en el uso de los recursos alimenticios). Otras investigaciones apuntan hacia el uso de un índice de madurez, construido a partir el peso al nacimiento, el peso a la monta y la edad de la novilla; el peso de su madre y la edad a la cual parió a la novilla; como un indicador más preciso de la capacidad del animal de entrar al hato reproductivo, que puede ser usado para clasificar los reemplazos por su futuro rendimiento económico y hasta para la predicción de partos distócicos (Stockton *et al.* 2014).

En todo caso, es importante que en esta etapa se monitoree el peso de las novillas, pues mayores ganancias diarias de peso (GDP) disminuyen las edades a la pubertad, a primer servicio y a primer parto (Heinrichs *et al.* 2010). Zanton y Heinrichs (2005), en un meta-análisis de 8 experimentos en desarrollo de hembras Holstein prepuberales, demostraron que ganancias de peso de 755 g/día maximizan la producción de leche corregida al 4% de grasa en la primera lactancia. Estos hallazgos son apoyados por Brickell y Wathes (2009), quienes a partir de datos de 17 hatos lecheros del sur de Inglaterra, encuentran una producción láctea 5,6% mayor ( $p=0,12$ ) en vacas con GDP de 600 a 800 g/día, en comparación con aquellas de 800 g/día, pues el crecimiento acelerado deprime del desarrollo mamario. Además, el grupo de animales con GDP entre 600 y 800 g/día mostró una circunferencia torácica 2,5% más amplia ( $p<0,001$ ), 2 meses menos de edad a primer parto ( $p=0,01$ ), 10 días menos a presentación del primer cuerpo lúteo post-parto ( $p=0,06$ ) y 13% más preñeces confirmadas en los 200 días post-parto ( $p=0,04$ ), en comparación con un grupo con GDP menores a 600 g/día.

En bovinos de carne también se informan beneficios del aumento en las GDP durante el desarrollo de los reemplazos (Cuadro 2). Stygar *et al.* (2014), a través de una simulación, hallaron que el óptimo económico para el desarrollo de reemplazos de ganado de carne, se encuentra al lograr una ganancia promedio de 810 g/día.

Cuadro 2. Efecto de diferentes ganancias diarias de peso (GDP) sobre parámetros físicos y reproductivos de novillas de carne.

| GDP  |      | Efecto de GDP alta sobre GDP baja  | Referencia  |
|------|------|--|---|
| Alta | Baja |  |   |
| 620  | 430  | Área pélvica 2,7 - 5% mayor<br>Grasa dorsal 23 a 26% mayor<br>Producción de leche 200 - 500 g mayor<br>Terneros 5 - 7% más pesados<br>Altura a la grupa 1,8 cm mayor | Buskirk <i>et al.</i> (1995)                      |
| 270  | -60  | 36% más novillas en estro<br>82% más estros con ovulación  | Maquivar <i>et al.</i> (2006).<br>(Experimento 1) |
| 900  | 610  | 4,5% más novillas en estro<br>22% más estros con ovulación<br>Peso final 8% mayor<br>Estros de 2 horas más de duración<br>13% menos celos post-sincronización        | Maquivar <i>et al.</i> (2006).<br>(Experimento 2) |
| 620  | 510  | 35% mayor presentación de estros<br>Tasa de preñez 28% mayor   | Maquivar <i>et al.</i> (2010)                     |
| 429  | 364  | Altura a la grupa 5,3% mayor<br>Mayor área ovárica<br>Mayor grosor endometrial   | Monteiro <i>et al.</i> (2013)                     |
| 580  | 380  | Peso final 20% mayor<br>12% más folículos > 4 mm<br>Tasa de ovulación 11 veces mayor<br>Condición corporal 22% mayor   | Samadi <i>et al.</i> (2014)                       |

Debe quedar clara la importancia de la etapa del desarrollo post-destete en la producción futura de las hembras bovinas, y como el manejo nutricional y el control del desarrollo corporal y reproductivo son herramientas claves. Específicamente, se cita a la combinación peso-edad como una herramienta apropiada para establecer cuando se debe aparear una hembra de reemplazo, lo cual varía en función de su capacidad genética de alcanzar determinados pesos, así como de las condiciones económicas de cada realidad de producción. Asimismo, las ganancias diarias de peso en la etapa del desarrollo se mencionan como predictores importantes en el futuro rendimiento de las hembras.

### 3.2 La zoometría y su importancia en la ganadería bovina

La zoometría consiste en un conjunto amplio de técnicas para el estudio de las formas de los animales, mediante mediciones corporales concretas, que dan valores numéricos para evaluar la conformación corporal de estos (Parés-Casanova 2009). Permite, no solo la identificación natural, sino una valoración zootécnica para predecir las posibilidades productivas de especies, razas e individuos determinados (Sierra 2009).

Las valoraciones zoométricas de los animales domésticos pueden complementar los procesos de selección, a través de caracteres morfoestructurales que ayuden a determinar los animales más aptos para una determinada función (Herrera y Luque 2009). Lo anterior, debido a que este tipo de características presentan alta heredabilidad ( $h^2 = 0,4 - 0,7$ ), son fáciles de medir (en pruebas individuales y de progeñe) y pueden ser registradas a temprana edad (Sierra 2009). Sin embargo, debe considerarse previamente la asociación de dichas mediciones con características de importancia económica, ya que de lo contrario, su valor se vuelve meramente referencial (Sierra 2009).

Para la obtención de medidas zoométricas a la manera clásica, se usan instrumentos diversos (Figura 1), como el bastón zoométrico, para la obtención de alturas, longitudes y anchos; la cinta métrica flexible, para la medición de circunferencias y otras mediciones que no implican una línea recta; el goniómetro, para la medición de ángulos; el calibre, el pelvímetro y el compás de brocas, que miden algunas anchuras y largos (Parés-Casanova 2009). Algunos autores proponen metodologías que aprovechan los avances en análisis computadorizado de imágenes, para obtener estas mediciones de manera más simple, segura para el operario y con menos estrés para el animal (González-Velasco *et al.* 2011, Gaudioso *et al.* 2014).

A continuación se hará mención a las principales medidas zoométricas empleadas en la literatura, y su relación con características productivas. Las mismas se muestran gráficamente en la Figura 2.

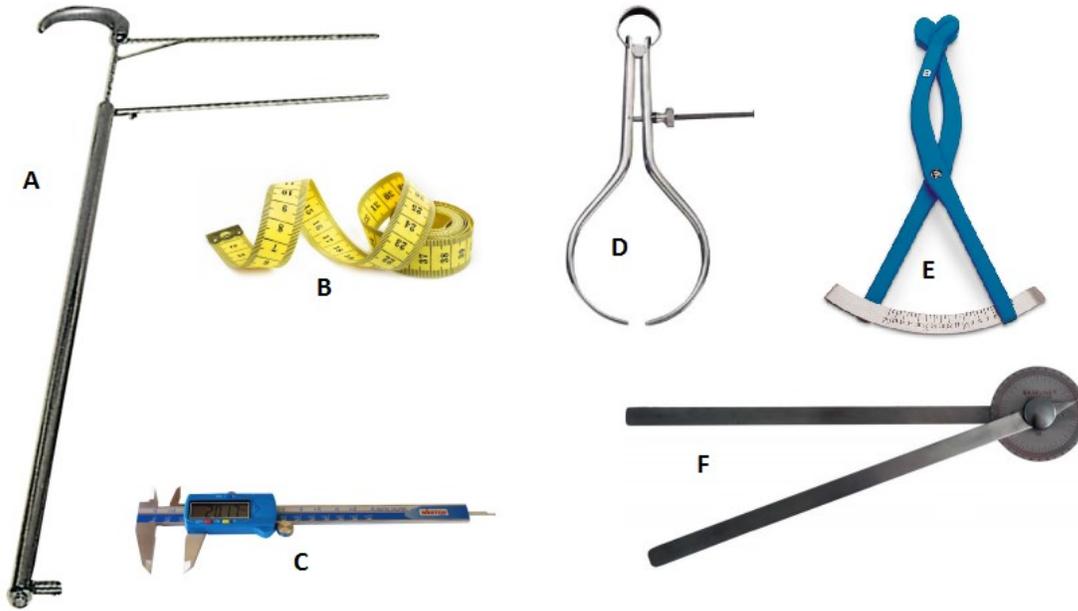


Figura 1. Instrumental utilizado en la toma de medidas zoométricas. A. Bastón zoométrico. B. Cinta métrica flexible. C. Calibre de vernier o pie de rey. D. Compás de brocas. E. Pelvímetro de Rice. F. Goniómetro

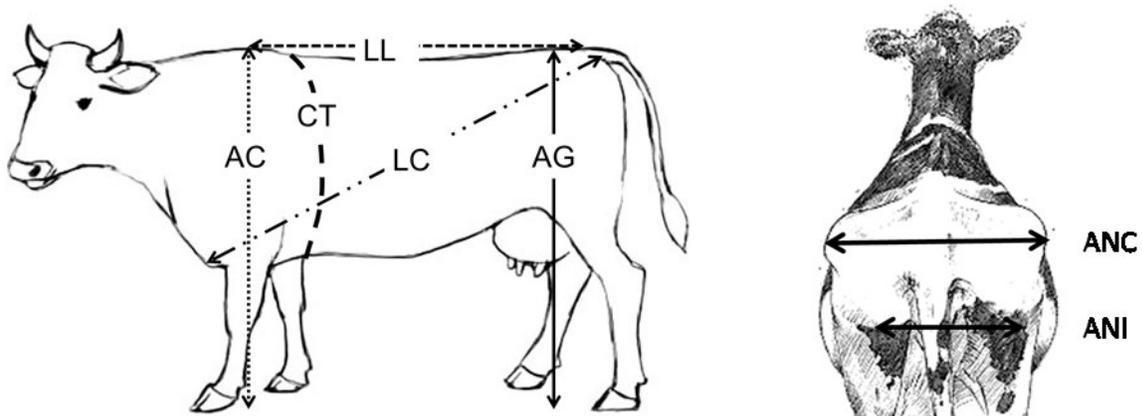


Figura 2. Representación de algunas mediciones utilizadas en la ganadería bovina. AC: Altura a la Cruz, AG: Altura a la Grupa, LC: Longitud Corporal, LL: Longitud del Lomo, CT: Circunferencia Torácica, ANC: Ancho de caderas, ANI: Ancho de isquiones.

Altura a la cruz (AC): Es definida por Herrera y Luque (2009) como la distancia medida entre el suelo hasta la parte más alta de la región interescapular. Está asociada de manera positiva con el peso del animal, el peso de su canal, y la cantidad de grasa subcutánea, retroperitoneal y perinéfrica en la misma (Conroy *et al.* 2009, De Paula *et al.* 2013, Pogorzelska-Przybyłek *et al.* 2014), así también se ha hallado asociaciones negativas con la proporción de carne de la canal (Conroy *et al.* 2009) y el grosor del músculo glúteo-bíceps (Pogorzelska-Przybyłek *et al.* 2014). Mayores alturas a la cruz se asocian con producciones de leche mayores pero menor eficiencia en el uso de los alimentos (Sieber *et al.* 1988, Bayram *et al.* 2006).

Altura a la grupa (AG): Distancia entre el suelo y la parte más distal de la primera apófisis sacral (Herrera y Luque 2009). Es utilizada por la Asociación Mundial Holstein para la clasificación lineal del ganado lechero, otorgando una puntuación de 1 a 9, que aumenta un punto por cada 3 cm entre los 1,3 y los 1,54 m (Hamoen 2014). Las diferencias de esta con la altura a la punta de los isquiones (ángulo de la grupa) se relacionan con la facilidad de parto y con mejores inserciones de la ubre (Herrera y Luque 2009, Wójcik y Kurk 2010, Hamoen 2014). Si la alzada a la grupa presenta valores similares a la alzada a la cruz, se indica que el animal presenta una morfoestructura apropiada para la producción de carne y leche, pues favorece el desarrollo muscular y una mejor inserción de los ligamentos mamarios (Herrera y Luque 2009).

La AG permite calcular el valor de formato (también conocido como tamaño de marco o frame size). Este es un indicador, independiente de la edad, que permite conocer el tamaño del esqueleto de los animales. Bovinos con altos valores de formato tienden a presentar una madurez fisiológica tardía, así como un mayor peso y una menor deposición de grasa subcutánea en comparación con vacunos de edad similar pero menor formato (BIF 2010). Las siguientes ecuaciones, propuestas por BIF (2010) permiten calcular los valores de formato (**VF**) en machos y hembras a partir de la Edad (**E**, en días) y la altura a la grupa (**AG**, en pulgadas).

$$\mathbf{VF = - 11,548 + 0,4878 AG - 0,0289 E + 1,947 \times 10^{-5} E^2 + 3,34 \times 10^{-5} AG \times E \text{ (Machos).}$$

$$\mathbf{VF = - 11,709 + 0,4723 AG - 0,0239 E + 1,46 \times 10^{-5} E^2 + 7,59 \times 10^{-5} AG \times E \text{ (Hembras).}$$

Van der Westhuizen (2014) comenta que las implicaciones económicas del VF dependen del sistema de crianza, el sistema de pago de las canales y la relación de precios entre los alimentos y la carne. En sistemas a pastoreo, con variabilidad en las condiciones ambientales y bajo consumo de energía, los animales de menor formato tienden a presentar mejores rendimientos en crecimiento y reproducción, debido al menor requerimiento de mantenimiento resultante de su masa corporal más pequeña. En sistemas de confinamiento, con bajos precios de granos y altos precios de carne, los animales de altos formatos son más rentables ya que pueden alcanzar mayores pesos en canal, sin penalizaciones por exceso de grasa subcutánea y porque al depositar menos grasa, aprovechan más eficientemente los alimentos altos en energía. Pero si el mercado desea animales jóvenes con buen desarrollo corporal y una apropiada deposición de grasa, los animales de menor formato serán más apropiados.

Longitud corporal (LC): Distancia medida entre el punto más craneal y lateral de la articulación escápulo-humeral al punto más caudal de la articulación ilioisquiática (Parés-Casanova 2009). Es un estimador de la longitud del animal, por lo cual está correlacionado positivamente con el peso de la canal (Pogorzelska-Przybyłek *et al.* 2014) y la grasa subcutánea e interna (De Paula *et al.* 2013). Sieber *et al.* (1988) y Bayram *et al.* (2006) informan correlaciones simples positivas con la producción de leche corregida por grasa y la producción de grasa en kilogramos por lactancia, pero Sieber *et al.* (1988), al incluirla junto con otras características zoométricas en un modelo multivariado, no encontró que su efecto fuese significativo.

Longitud del lomo (LL): Fry (2007) y Alonso *et al.* (2007) definen esta medida como la distancia entre la cruz y la base de la cola. Se indica que los animales con lomos muy largos tienden a tener un músculo *Longissimus dorsi*, con menor grosor, una forma irregular y menor fuerza, provocando defectos como hundimientos y pandeamientos que afectan los puntajes de canal (Fry 2007). Alonso *et al.* (2007) usaron el largo del lomo como una de las variables que incluyen en un modelo de predicción de los puntajes de conformación de la canal, en animales de la Raza Asturiana de los Valles, en el que obtienen una correlación de 0,906 con los puntajes

reales. Esto indica la importancia de dicha medida en la conformación de las canales bovinas.

Anchura de caderas (ANC): Se define como la distancia máxima entre las tuberosidades ilíacas de un animal (Herrera y Luque 2009). A mayor anchura de la grupa se puede esperar mayor peso de canal caliente, área de ojo de lomo, grosor de lomo y grosor de la grasa dorsal (Pogorzelska-Przybyłek *et al.* 2014). Esta, junto con el ancho de los hombros, es una de las medidas zoométricas más limitantes para la presentación de partos distócicos, ya que los terneros nacidos naturalmente presentan en promedio, 2 cm menos de ancho de caderas que los terneros nacidos por cesárea, en la raza belga azul (Kolkman *et al.* 2010). Por cada aumento de 1 cm de ancho de la cadera, la probabilidad de un parto sin asistencia aumenta un 6% (Wójcik y Kruk 2010). Es una característica que se ha asociado con mayor producción lechera ( $r \approx 0,30$ ;  $p < 0,001$ ), ya que al mantener otras variables sin cambio, se esperan aumentos de 51,5 kg de leche al 4% de grasa por lactancia por cada centímetro de aumento en la anchura de la grupa (Sieber *et al.* 1988). A pesar de ello, Bayram *et al.* (2006) no hallaron relación alguna de dicha característica con mejores producciones lácteas. Por otro lado, la ANC se relaciona negativamente con la eficiencia de aprovechamiento de la energía de los alimentos ( $r = -0,23$ ;  $p < 0,001$ ; Sieber *et al.* 1988).

Anchura de isquiones (ANI): Se refiere a la distancia entre las puntas de las dos tuberosidades isquiáticas, es usada en la evaluación lineal del ganado lechero (Hamoen 2014). Wojcik y Kurk. (2010) determinaron que por cada aumento de un centímetro en la ANI de las madres, la probabilidad de un parto sin asistencia aumenta 7%.

Circunferencia torácica (CT): Mide el contorno del animal, desde el límite caudal de la cruz (articulación interescapular) y descendiendo por el costado hasta el esternón, en la región del olécranon para volver a encontrarse en la cruz (Parés-Casanova 2009). Permite desarrollar los mejores modelos predictivos del peso vivo del animal, ya sea mediante ecuaciones lineales (Araújo *et al.* 2013) exponenciales (Oliveira *et al.* 2013), cuadráticas o cúbicas (Yakubu *et al.* 2010). Fry (2007) señala

que mayores circunferencias torácicas se relacionan con mayor espacio para los órganos vitales (y por ende, mayor capacidad productiva).

En ocasiones no solamente es importante el valor absoluto de una variable biométrica, sino su relación con otras. Por esta razón, en la valoración morfológica de los bovinos, se ha establecido una serie de índices que permiten poner en evidencia las proporciones corporales de los animales, discriminar más adecuadamente entre grupos de estos y establecer relaciones con características de importancia productiva (Mota *et al.* 2013). En el Cuadro 3 se resumen algunos de los índices zoométricos más importantes.

Cuadro 3. Fórmulas e importancia productiva de algunos índices zoométricos

| Índice                     | Fórmula                  | Importancia   | Referencia |
|----------------------------|--------------------------|---|------------|
| De Proporcionalidad (IP)   | <b>AC/LC×100</b>         | Menores valores implican una conformación rectangular, predominante en animales de aptitud carnífera  | 1          |
| De Anamorfosis (IA)        | <b>CT<sup>2</sup>/AC</b> | Relaciona el área del tórax* con la AC. Valores bajos reflejan bovinos poco seleccionados para producción, por una menor capacidad para los órganos internos. | 1,2        |
| De Compacidad (IC)         | <b>PV/AC×100</b>         | Indicador de condición corporal y de eficiencia alimenticia. Se esperan valores más bajos en ganado de leche que en ganado de carne                           | 2,3,4      |
| Pelviano Transversal (IPT) | <b>ANC/AC×100</b>        | Mayores valores implican mayor capacidad de desarrollo muscular en cuarto trasero y facilidad de parto  | 1,6,7      |

\*Recordar que en un círculo  $Circunferencia^2 = 4\pi \times \text{Área}$ . Referencias: 1. Parés-Casanova (2009), 2. Mota *et al.* (2013), 3. Depablos *et al.* (2009), 4. Madalena *et al.* (2003), 5. Fry (2007), 6. Contreras *et al.* (2012), 7. Bravo y Sepúlveda (2010)

Se podría resumir lo anterior, al decir que el análisis zoométrico del ganado bovino permite establecer criterios de selección, determinar parámetros para la

clasificación zootécnica de las diferentes razas, predecir los rendimientos futuros y medir el perfil de desarrollo de los animales.

### **3.3 Uso de imágenes ultrasonográficas para el monitoreo de la deposición de grasa y músculo**

El uso de sistemas de ultrasonido, aplicados a la evaluación de las características de rendimiento cárnico y deposición de lípidos en bovinos, permite estimar, desde una temprana edad, parámetros que antes eran solo medibles post-mortem, posibilitando la selección temprana y un más rápido avance genético (Bellenda 2003, Piccirillo 2008). Esta tecnología, funciona a partir de la emisión de ondas de alta frecuencia realizada por cristales piezoeléctricos, que penetran ciertos tejidos y rebotan en otros, formando ecos. Estos ecos, son reconocidos por el mismo cristal que los transforma en imágenes que pueden ser interpretadas por personal entrenado y que permiten la obtención de ciertas medidas internas (Bellenda 2003). De esta forma se obtienen varias medidas (Figura 3), como las que se describen a continuación:

Área de ojo de lomo (AOL): Es la superficie de una sección transversal del músculo *Longissimus dorsi*, a la altura del duodécimo espacio intercostal. Dicha ubicación se basa en estudios de los años 40, que demostraron que la composición de grasa y músculo de cortes de esta región son buenos estimadores de la composición de la canal completa (Peña *et al.* 2014). King *et al.* (2001) hallaron mejores rendimientos de canal en animales con mayor AOL. Peña *et al.* (2014) apuntan que esta característica está correlacionada de manera positiva con los porcentajes de músculo magro, y de manera negativa con los porcentajes de hueso en la canal. Greiner *et al.* (2003) generaron un modelo multivariado que indica que por cada centímetro de AOL que se aumentara, se esperan aumentos de 0,12-0,14 puntos porcentuales en el rendimiento en cortes minoristas, lo cual equivale a 0,44-0,47 kg de carne vendible extra, manteniendo otras variables constantes. Por lo tanto, la medición de la AOL y la toma de decisiones de selección y matanza derivadas de dicha medición son importantes para el mejoramiento de la industria cárnica (Piccirillo 2008).

Profundidad de la grasa dorsal (PGD): Mide el grosor del tejido adiposo subcutáneo delimitado por la piel y la fascia profunda ubicada entre las costillas

duodécima y decimotercera (Ferrario y Fernández 2007). Esta característica se asocia de manera negativa con el rendimiento en cortes minoristas (-8,5 puntos porcentuales, en promedio, por cada cm de PGD, si se mantienen otras variables constantes) y con el peso de carne vendible (en promedio, -11,4 kg por cada cm de PGD, otras variables constantes) (Greiner *et al.* 2003). Así mismo, permite estimar la grasa diseccionable de la canal y de la grasa subcutánea (Peña *et al.* 2014). Su correlación con la PGD medida en la canal varía entre 0,72 y 0,92; mientras que la diferencia media absoluta entre la medición ultrasonográfica de la PGD y la observación en la canal se encuentra entre 1,6 a 1,9 mm (Schroeder y Staufienbiel 2006). Aunque estudios citados por Bellenda (2003) encontraron correlaciones fenotípicas y genéticas del orden de -0,10 a -0,12 entre la PGD y AOL, medidas ultrasonográficamente, Pogorzelska-Przybyłek *et al.* (2014) indican una correlación fenotípica de 0,21.



Figura 3. Imagen ultrasonográfica del área de ojo de lomo (AOL) y la profundidad de la grasa dorsal (PGD).

Otras medidas de importancia en la industria cárnica que pueden obtenerse mediante mediciones ultrasonográficas, son el espesor de la grasa del anca, también conocida como P8, útil para la evaluación de la condición corporal y la deposición de grasa en animales jóvenes en pastoreo (Bellenda 2003, Schroeder y Staufienbiel

2006); el porcentaje de marmoleo, como un indicador de la cantidad de grasa intramuscular y la calidad de la carne en términos de jugosidad y suavidad (Ferrario y Fernández 2007); el porcentaje de grasa en los riñones, usado para valorar la calidad de la canal y la deposición de grasa interna (Greiner *et al.* 2003); y el grosor de los músculos *L. dorsi* y *Gluteo-biceps* (Conroy *et al.* 2009, Pogorzelska-Przybyłek *et al.* 2014), relacionados con el desarrollo muscular. Dichas medidas no serán profundizadas en la presente revisión, en vista de que no serán evaluadas en el trabajo experimental.

Para finalizar esta sección, se debe reforzar el hecho de que el uso de herramientas ultrasonográficas ha cobrado gran importancia en la ganadería moderna, por proveer una forma de obtener mediciones *in vivo* para la toma de decisiones de selección de progenitores y de animales comerciales, que favorezcan la producción de carne con las características de calidad deseadas por los industriales y consumidores.

### **3.4 Necesidad de la suplementación mineral en los bovinos en crecimiento**

En todo tejido animal pueden encontrarse entre 20 y 30 elementos minerales, en concentraciones pequeñas y variables (Suttle 2010). Sin embargo, existen ciertos minerales, considerados esenciales, que cumplen papeles importantes en el cuerpo de los animales y, cuya carencia, provoca un mal funcionamiento del organismo (Valadares Filho *et al.* 2010). Suttle (2010) indica la existencia de al menos 22 minerales esenciales para el ganado bovino, que según las cantidades requeridas, se clasifican en:

Macrominerales: Elementos como el calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K), azufre (S) y magnesio (Mg) son considerados macrominerales, pues se encuentran en proporciones importantes en el cuerpo de los bovinos, si bien son menores que el carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Por ejemplo, Almeida *et al.* (2009) informan valores promedio de 1,7-1,8% de Ca, 1,2-1,4% de P, 0,028% de Mg, 0,15% de Na y de 0,14-0,17% de K en el cuerpo vacío (sin vísceras) de novillos Nelore bajo pastoreo.

Microminerales: Son elementos, encontrados por lo general en concentraciones menores a 50 mg/kg en los tejidos animales (Valadares Filho *et al.* 2010). Son importantes para la regulación y coordinación de numerosos procesos metabólicos, y ayudan a mantener un adecuado funcionamiento del organismo, sin embargo, se requieren en cantidades muy pequeñas y su exceso puede ser dañino (Suttle 2010). Se incluyen en esta categoría elementos como hierro (Fe), yodo (I), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), cobalto (Co), selenio (Se), molibdeno (Mo), cromo (Cr), estaño (Sn), vanadio (V), flúor (F), sílice (Si), níquel (Ni) y arsénico (As) (Suttle 2010). No obstante, solamente se han estimado requerimientos nutricionales para el Fe, Zn, Cu, Mo, Se, Mn, I y Co (Valadares Filho *et al.* 2010).

Por otra parte, existen elementos como aluminio (Al), cadmio (Cd), litio (Li), boro (B), plomo (Pb) y rubidio (Rb) que han mostrado beneficios para la salud de los animales en condiciones específicas, sin que se haya determinado, aún, su esencialidad (McDowell y Arthington 2005).

Según Suttle (2010), las necesidades de minerales de los bovinos han sido establecidas mediante métodos de dosis-respuesta y/o factoriales. Los primeros, sirven para comprobar los resultados de los métodos factoriales y consisten en observar las curvas de respuesta a la suplementación con minerales específicos en diferentes niveles, determinando los niveles de no respuesta. Los segundos, más ampliamente utilizados, permiten determinar las cantidades necesarias de cada mineral según el tamaño del animal y su nivel productivo, según la ecuación:

$$R_T = (RN_M + RN_P) / C_A$$

Donde:

**R<sub>T</sub>** = Requerimiento total, que es la cantidad de un mineral que se debe consumir diariamente para compensar las pérdidas endógenas, las necesidades productivas y la ineficiencia en la absorción del elemento.

**RN<sub>M</sub>** = Requerimiento neto de mantenimiento, es la cantidad de mineral que compensa las pérdidas endógenas de minerales, a fin de mantener el correcto

funcionamiento de los tejidos en un animal con crecimiento y actividad nulas (Valadares Filho *et al.* 2010).

**RN<sub>P</sub>** = Requerimiento neto de producción, incluye las cantidades de elementos minerales que el animal deposita en tejidos o producto vendible (huesos, leche, carne, entre otros) (Suttle 2010).

**C<sub>A</sub>** = Coeficiente de absorción del elemento en cuestión. Proporción del total de elemento ingerido que se espera sea absorbido a nivel intestinal.

Los autores de las tablas brasileñas para ganado de carne BR-CORTE (Valadares Filho *et al.* 2010) estimaron los requerimientos de macrominerales (Ca, P, Mg, K y Na) en ganado *Bos indicus* y sus cruces en condiciones tropicales (Cuadro 4). Para el cloro, recomiendan seguir los planteamientos del ARC (1980), aunque el NRC (1996) y Suttle (2010) indican que la deficiencia de este elemento, es poco común, por lo cual no hace falta considerar sus necesidades.

El azufre no es esencial para los mamíferos, ya que estos requieren consumir aminoácidos (metionina, cisteína, taurina) y vitaminas azufradas (biotina, tiamina) para sus funciones fisiológicas (formación de cartílago, estructura terciaria de proteínas, reacciones de metilación, formación de las hormonas insulina y oxitocina, acción antioxidante, balance ácido-base) (NRC 2001, Suttle 2010). Pero los microorganismos ruminales requieren este elemento para sintetizar aminoácidos azufrados, deprimiéndose la producción de proteína microbial si la provisión de S no es adecuada (Suttle 2010). El ARC (1980) aconseja usar una relación de 0,067 g S/g de N consumido, siempre que el nivel de proteína cruda sea correcto. Suttle (2010), por otra parte, recomienda suplir 0,1 g de S por cada g de proteína microbial que se espera sintetizar en el rumen. El NRC (1996) sugiere un requerimiento 1,5 g S/kg MS y el NRC (2001) 2 g/kg MS. El valor sugerido por el NRC (1996) es el recomendado por Valadares Filho *et al.* (2010) para ganado cebuino en condiciones tropicales.

Cuadro 4. Requerimiento nutricional total (g/día) de macrominerales para ganado cruzado *Bos taurus* × *Bos indicus* en confinamiento, con diferentes pesos y ganancias diarias de peso (GDP)<sup>1</sup>

| Mineral         | GDP<br>(kg/día) | Peso vivo (kg) |       |       |       |       |       |
|-----------------|-----------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 |                 | 200            | 250   | 300   | 350   | 400   | 450   |
| Ca              | 0,50            | 17,19          | 17,60 | 18,25 | 19,06 | 19,98 | 20,98 |
|                 | 0,75            | 22,98          | 22,90 | 23,18 | 23,69 | 24,37 | 25,17 |
|                 | 1,00            | 28,77          | 28,19 | 28,10 | 28,33 | 28,76 | 29,35 |
|                 | 1,25            | 34,57          | 33,49 | 33,03 | 32,96 | 33,15 | 33,54 |
| Mg              | 0,50            | 4,57           | 5,46  | 6,34  | 7,23  | 8,11  | 9,00  |
|                 | 0,75            | 5,08           | 5,97  | 6,85  | 7,74  | 8,63  | 9,51  |
|                 | 1,00            | 5,59           | 6,48  | 7,37  | 8,25  | 9,14  | 10,02 |
|                 | 1,25            | 6,11           | 6,99  | 7,88  | 8,77  | 9,65  | 10,54 |
| P               | 0,50            | 9,98           | 10,97 | 12,04 | 13,14 | 14,28 | 15,45 |
|                 | 0,75            | 12,38          | 13,23 | 14,17 | 15,19 | 16,25 | 17,34 |
|                 | 1,00            | 14,79          | 15,48 | 16,31 | 17,23 | 18,21 | 19,24 |
|                 | 1,25            | 17,19          | 17,73 | 18,44 | 19,27 | 20,18 | 21,14 |
| Na <sup>2</sup> | 0,50            | 1,97           | 2,30  | 2,63  | 2,96  | 3,29  | 3,62  |
|                 | 0,75            | 2,29           | 2,62  | 2,95  | 3,28  | 3,61  | 3,94  |
|                 | 1,00            | 2,61           | 2,94  | 3,27  | 3,60  | 3,93  | 4,26  |
|                 | 1,25            | 2,93           | 3,26  | 3,59  | 3,92  | 4,25  | 4,58  |
| K               | 0,50            | 20,98          | 25,55 | 30,01 | 34,37 | 38,66 | 42,88 |
|                 | 0,75            | 23,27          | 27,88 | 32,38 | 36,77 | 41,09 | 45,35 |
|                 | 1,00            | 25,11          | 29,77 | 34,31 | 38,74 | 43,09 | 47,37 |
|                 | 1,25            | 26,52          | 31,22 | 35,79 | 40,26 | 44,64 | 48,96 |

<sup>1</sup>Fuente: Valadares Filho *et al.* (2010). <sup>2</sup>Requerimiento de sodio para hembras.

En cuanto a los minerales traza, solo para el Cu y el Zn se han estimado componentes de los modelos factoriales, y dichos valores no son satisfactorios, por lo que, sus requerimientos han sido determinados por métodos de dosis-respuesta (ARC 1980, Suttle 2010). El Cuadro 5 presenta los requerimientos de minerales traza según varias fuentes, así como los factores que afectan su absorción y los coeficientes de absorción esperados. Valadares Filho *et al.* (2010) recomiendan los valores del NRC (1996) para cebuinos en crecimiento en el trópico, sin embargo, dado que estos son valores fijos, podrían verse afectados en presencia de factores

que favorezcan o limiten la absorción de los elementos, por lo que sería difícil explicar el comportamiento productivo de los animales.

Cuadro 5. Requerimientos nutricionales totales (mantenimiento + ganancia, mg/kg MS) de microminerales según varios autores, coeficientes de absorción ( $C_A$ , %) y factores que aumentan (+) o disminuyen (-) la absorción según Suttle (2010)

| Elemento | NRC (1996) | ARC (1980)             | Suttle (2010)                          | $C_A$                    | Factores que afectan absorción  |
|----------|------------|------------------------|--|--------------------------|---|
| Co       | 0,10       | 0,08-0,11              | 0,04-0,15                              | 3-16                     | (+) Co intrínseco, Co dietario  |
| Cu       | 10         | 8-16                   | 4-30                                   | 1-10(40 <sup>a</sup> )   | (-) Edad, S, Mo, Fe, Ca, Cd, Zn, Mn                                     |
| I        | 0,50       | 0,50 (2 <sup>b</sup> ) | 0,18-0,27                              | -                        | (-) Presencia de goitrógenos  |
| Fe       | 50         | 30                     | 25-40                                  | 9-60                     | (-) Edad, Fe dietario <sup>1</sup>                                      |
| Mn       | 20         | 20-25                  | 8-10 <sup>c</sup> (20-25) <sup>d</sup> | 6,5-57                   | (-) Edad, Fe dietario, Mn dietario                                      |
| Se       | 0,10       | 0,05-0,08              | 0,05-0,10                              | 30-80 (90 <sup>a</sup> ) | (-) Fuente de selenio <sup>2</sup> (Sulfatos, Molibdatos), status de Se |
| Zn       | 30         | 30                     | 18                                     | 16-75                    | (-) Ca, fitatos   |

<sup>a</sup>En terneros lactantes. <sup>b</sup>En dietas con altos niveles de goitrógenos (sustancias que hacen indisponible el yodo). <sup>c</sup>Suficiente para crecimiento óptimo. <sup>d</sup>Favorece la reproducción en novillas. <sup>1</sup>Hierro proveniente de grupo heme no se ve afectado por la concentración de hierro. <sup>2</sup>Selenatos son más ineficientemente absorbidos en presencia de sulfatos y molibdatos; selenitos, selenocistina y selenometionina no se ven afectados.

### 3.5 Ensayos con suplementación mineral

Se señala que bovinos alimentados con pasto pueden satisfacer sus requerimientos de algunos minerales (Suttle 2010), empero, debido a la variabilidad de la composición de los forrajes, que depende del suelo, clima, edad y fertilización,

entre otros factores; se pueden constatar desbalances que afectan el rendimiento productivo de los animales (Grace y Knowles 2012). Por otro lado, si el ganado tiene un alto potencial productivo, suele presentar mayores requerimientos nutricionales, por lo cual, el aporte del forraje puede ser insuficiente, dando lugar a problemas como crecimiento disminuido, infertilidad y otros trastornos metabólicos, a nivel clínico o subclínico (Suttle 2010).

Ante esta situación, se ha fomentado la práctica de la suplementación mineral, a través de la fertilización y el encalado de las pasturas (forma indirecta) y por medio de suplir directamente al animal compuestos que su cuerpo pueda aprovechar para obtener los minerales que necesita, ya sea vía oral (en el alimento) o inyectada (Suttle 2010).

### **3.5.1 Suplementación oral de minerales específicos**

Aunque en las dietas prácticas para bovinos suelen utilizarse suplementos que permitan cubrir la mayoría de los minerales que el ganado requiere, algunos estudios se enfocan en los efectos de diferentes niveles de un único mineral, con el fin de establecer cuál es la cantidad de dicho mineral que genera un mejor rendimiento del animal.

Se señala que el selenio es un elemento cuya deficiencia natural en los suelos alrededor del mundo es más común que su exceso (Kahnal y Knight 2010). Por ello, Reis *et al.* (2008) evaluaron el efecto de suplementar este elemento en terneros Nelore que pastoreaban potreros de *B. brizantha* y *B. decumbens* y consumían 200 g/día de suplemento protéico-mineral. Encontraron ganancias diarias de peso de 460 g/d no suplementando selenio y de 548, 634 y 546 g/d al proveer el selenio en niveles de 3,6; 5,4 o 6,4 mg/animal/día, respectivamente, por lo cual el nivel de 5,4 mg/animal/día fue recomendado en las condiciones del estudio. Lo anterior, cabe destacar, se dio en pasturas con 0,04 mg/kg de selenio, lo cual es aproximadamente un tercio del contenido promedio de dicho mineral en pastos costarricenses (0,12 mg/kg), aunque similar a lo encontrado en pastos de la Zona Central y Brunca durante la época lluviosa (0,05 y 0,07 mg/kg, respectivamente) (Vargas 1992).

También Liao *et al.* (2011) contrapusieron la suplementación de selenio a novillas Angus (en forma de selenito de sodio o de levadura de selenio) contra un grupo no suplementado (0,05 mg/kg Se en la dieta). Todos los animales recibieron una dieta de maíz quebrado, cascarilla de algodón, cascarilla de soya, harina de soya y una premezcla de minerales sin selenio o con él. No se encontró diferencias significativas, en el consumo de materia seca, ganancia diaria de peso, y la eficiencia de conversión de las novillas que consumieron selenio, probablemente porque los requerimientos de este mineral se estiman entre 0,05 y 0,10 mg/kg (Cuadro 5).

Esser *et al.* (2009) evaluaron el efecto de la suplementación con fósforo en novillas Holstein y Holstein × Jersey por aproximadamente 600 días (entre los 4 y 24 meses). Las novillas tratadas recibieron 0,39% de fósforo en sus dietas y las no tratadas 0,29%. Los autores informan que las novillas suplementadas no se diferenciaron significativamente en medidas corporales externas (peso corporal, altura de la cadera, ancho de la cadera, largo del cuerpo, circunferencia torácica, circunferencia de los metacarpos, ancho, altura y área pélvica), densidad ósea, ni concentraciones de osteocalcina y piridinolina en sangre (indicadores de formación y resorción ósea, respectivamente), en contraposición, sus huesos presentaron mayores contenidos de fósforo y cobre, pero menores contenidos de sodio al compararlas con las no suplementadas. Al considerar que las novillas requieren 0,20-0,35% de fósforo, se demuestra que suplir fósforo adicional no tuvo efecto en el desarrollo óseo de novillas lecheras.

Al suplementar con magnesio, en una dosis de 15 g/animal/día, a vacas Angus preñadas en pastoreo, Cseh *et al.* (2012) indican que el grupo suplementado ganó más peso (180 g/día contra 112 g/día del control) y tuvo terneros 20,8 kg más pesados al destete, a pesar de que los pesos al nacimiento de los terneros no presentaron diferencias entre ambos grupos. Esto indica que las vacas mantuvieron una mejor condición corporal, característica asociada a la reproducción eficiente, y produjeron una leche de mayor calidad para alimentar al ternero.

Félix *et al.* (2012) evaluaron la suplementación con cobre a niveles de 100 y 200 mg/kg de materia seca de la dieta, contra un grupo no suplementado, en novillos y novillas encastados Angus, en confinamiento, que recibían una dieta a base de

destilados de maíz (60%), heno (10%) y cascarilla de soya (15%). Los animales suplementados no presentaron diferencias significativas en su ganancia de peso, consumo de materia seca, peso de canal caliente, puntaje de marmoleo, área de ojo de lomo ni profundidad de la grasa dorsal, pero resultaron más eficientes para convertir el alimento en carne (16,7; 17,7 y 17,7%, para los niveles de 0, 100 y 200 mg Cu/kg MS, respectivamente). Las concentraciones de cobre en el hígado fueron 8 y 11 veces mayores al suplir 100 y 200 mg/kg de cobre, respectivamente. Además, se informan aumentos de 7 a 19% en la acumulación hepática de Ca, S, Mn y Mg en el hígado de animales suplementados.

Costa e Silva *et al.* (2015) evaluaron el consumo, la digestibilidad de nutrientes, el rendimiento, la eficiencia microbial y la composición corporal de novillas y novillos Nelore en crecimiento; sometidos a dietas que cumplieran con los niveles de Ca y P recomendados por Valadares Filho *et al.* (2015) para una ganancia de  $\approx 0,3$  kg/día (CaPR) o 43% y 80% de los requerimientos de Ca y P, respectivamente (CaPL). No encontraron diferencias en el consumo y digestibilidad de la materia seca y los nutrientes debidas a los niveles de Ca y P. Tampoco se observaron diferencias en las GDP, excreción de derivados de purinas (alantoína y ácido úrico), producción de proteína microbial y eficiencia microbial. Además, aunque la composición química de la sección entre las costillas 9°-11° no difirió en sus porcentajes de hueso, materia seca, proteína cruda, grasa y calcio, los niveles de cenizas y fósforo fueron 6,4% ( $p=0,09$ ) y 19% ( $p=0,08$ ) inferiores en grupo CaPR con respecto al CaPL.

### **3.5.2 Suplementación multimineral oral**

En un estudio realizado en Venezuela por Botacio y Garmendia (1997), se midió el efecto de la suplementación oral de una mezcla de minerales sobre parámetros productivos y reproductivos en novillas de raza Criollo  $\times$  Cebú en pastoreo, en comparación con un grupo que sólo consumió sal blanca. El cloruro de sodio presentó consumos más bajos que la mezcla mineral (19,8 versus 53,9 g/animal/día). Los animales que consumían la mezcla mineral presentaron similar GDP que los que consumían sal blanca durante la época lluviosa, pero hubo marcadas diferencias

durante la época seca, donde las novillas que consumieron sal común perdieron 73 g/día y las novillas que consumieron una mezcla mineral completa ganaron 178 g/día ( $p < 0,05$ ). La suplementación aumentó el porcentaje de preñez en novillas respecto al testigo (de 31 a 60% en época seca y de 30 a 52% en época lluviosa,  $p < 0,05$ ) y disminuyó los días abiertos (de 158 a 140 días,  $p < 0,05$ ) y el porcentaje de abortos (14% a 6%,  $p < 0,05$ ), por lo cual se puede considerar que este estudio el uso de un suplemento multimineral mejoró los parámetros productivos y reproductivos.

Obispo *et al.* (2002) probaron el efecto de una mezcla mineral *ad libitum* (15% Ca, 10% P, 17% Cl, 13% Na, 1% Mg, 1% S, 0,5% Zn, 0,3% Mn, 0,15% Fe 0,13% Cu, 50 mg/kg I, 20 mg/kg Co, 15 mg/kg Se) versus sal blanca, en las ganancias de peso de novillas de carne en pastoreo durante tres períodos (A- 284 días entre el final de época lluviosa y toda la sequía, B- 83 días en transición de sequía a época lluviosa y C- 98 días en época lluviosa). Aunque en el período A no se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos, en el B las novillas suplementadas perdieron peso y las que recibieron solo cloruro de sodio ganaron 32 g/d en promedio. Finalmente, en el período C, la GDP fue 50% mayor en las novillas suplementadas con minerales con respecto a las que solo consumieron sal ganadera. Lo anterior a pesar de que el pasto presentaba niveles de P y Cu por debajo de lo recomendado. Esto sugiere que la suplementación mineral podría tener efectos diferentes según la época del año, debido a la variabilidad en la composición forrajera.

Terneros Angus en pastoreo que consumieron, a libre voluntad, mezclas de minerales orgánicos o inorgánicos (ambos con 10,7% Ca; 11,4% P; 0,1% Cu; 0,32% Zn y 0,29% Mn) y cuyas madres también recibían el mismo suplemento mineral, presentaron menor peso al destete, ajustado a 205 días, en el año 1 (control 266,5 kg, mineral inorgánico 262,9 kg, mineral orgánico 247,7 kg;  $p = 0,04$ ) y en el año 2 de evaluación (control 197,1 kg, mineral inorgánico 184,3 kg, mineral orgánico 178,6 kg;  $p = 0,01$ ), al compararlos con un grupo de terneros que no recibían dicha suplementación (control). Sin embargo, las tasas de preñez fueron menores en el segundo año para el grupo no suplementado (34%, versus 57% en el grupo inorgánico y 58% en el orgánico,  $p = 0,04$ ). Los autores sugieren la hipótesis de que al sobrepasarse los

valores de deficiencia existe un rango amplio de niveles aceptables, lo que hace que los efectos de la suplementación sean poco visibles (Ahola *et al.* 2004).

Los mismos terneros usados en el estudio anterior, fueron evaluados en su etapa de desarrollo y engorde intensivo, con dietas a base de maíz en hojuelas, ensilaje de maíz, heno de alfalfa y un suplemento protéico (formulado con harina de semilla de algodón, harina de semillas de girasol, harina de soya y urea). Recibieron además monensina sódica e implantes hormonales. Los no suplementados en la fase predestete continuaron sin consumir ninguna mezcla de minerales adicionada a su dieta, mientras que los demás recibieron 10 mg/kg de Cu, 30 mg/kg de Zn y 20 mg/kg de Mn por animal por día, tanto en forma de proteínatos (mineral orgánico), como en forma de sulfatos (mineral inorgánico). En ninguno de los dos años de evaluación se encontraron efectos de los tipos de minerales o la suplementación mineral sobre la ganancia diaria de peso y el consumo de materia seca en las fases de desarrollo o engorde, y solamente el primer año se encontró que los animales que consumieron minerales orgánicos fueron más eficientes en ambas fases. Tampoco las características de canal ni el perfil de lípidos de la grasa de los animales se vio afectado por los tratamientos (Ahola *et al.* 2005).

Depablos *et al.* (2009) no encontraron mejorías en ganancia de peso o condición corporal al suplementar minerales *ad libitum* (24,16% Ca, 13,63% P, 10,75% Na, 2,63% Mg, 1,01% S, 0,645% Cu, 1,54% Zn, 24 mg/kg Co, 49 mg/kg Se) en comparación con solo ofrecer sal blanca, en novillas cruzadas *Bos taurus x Bos indicus* que pastoreaban en potreros con presencia de *Cynodon nlemfluensis*, *Brachiaria humidicola*, *B. radicans* y *B. decumbens*. Este resultado se dio pues los contenidos de minerales del pasto llenaban los requerimientos de los animales, lo cual hacía innecesaria la suplementación.

No se encontraron diferencias en las ganancias de peso de vacas y novillas Brahman × Angus bajo pastoreo con concentrado, debidas a la inclusión de un suplemento multimineral oral, en dos experimentos consecutivos durante la fase predestete (102 y 97 días, respectivamente) realizados en Ona, Florida (Moriel y Arthington 2013). Posterior al destete, evaluaron las mismas novillas en condiciones de desarrollo en confinamiento, por 30 días, todas suplementadas con un

multimineral completo, para determinar el efecto de la suplementación mineral durante la fase predestete, pero no se hallaron diferencias significativas para la GDP en ninguno de los dos experimentos realizados. Esto a pesar de que el grupo suplementado presentó concentraciones hepáticas de Co, Cu y Se 71, 64 y 70% mayores, respectivamente, en el segundo experimento.

Los estudios anteriores sugieren que la suplementación mineral oral no tendrá efecto en las ganancias de peso y el crecimiento, si los aportes de minerales en la ración son apropiados para el nivel productivo de los animales y que incluso, en presencia de algunos niveles de deficiencia, podría carecerse de respuestas productivas a la suplementación.

### **3.5.3 Combinación de suplementos minerales orales e inyectables**

Desde el punto de vista tradicional, se indica que los suplementos minerales inyectables se recomiendan en casos de deficiencia clínica de algún mineral, pues la respuesta al tratamiento se observa en el corto plazo (1 a 7 semanas) (Grace y Knowles 2012). Sin embargo, estudios recientes buscan evaluar el efecto del uso de soluciones minerales vía parenteral para la suplementación de microminerales difíciles de proveer en la dieta, con poca capacidad de absorción debido a interacciones con otros nutrientes o con fuentes de poca biodisponibilidad, así como para proveer un *pool* de minerales muy aprovechables que mejoren la respuesta productiva en situaciones de estrés fisiológico (Genther y Hansen 2012, 2014).

Novillas Brangus (n=34) en Ona, Florida, que fueron desarrolladas por 177 días en un sistema de pastoreo de limpograss (*Hemarthria altissima*) y que recibían 2,25 kg/día de suplemento energético-protéico (sin aporte de suplementos minerales salvo carbonato de calcio), recibieron inyecciones de 2,5 ml de un suplemento inyectable con 60, 10, 15 y 5mg/ml de Zn, Mn, Cu y Se, respectivamente, o salina, en los días 0, 51 y 127 (Arthington *et al.* 2014). El grupo suplementado presentó una ganancia de peso 19% mayor ( $p=0,06$ ), sin diferenciarse en otras variables como edad a la pubertad o porcentajes de preñez, luego de ser sometidas a monta natural. Al analizar biopsias de hígado, no se encontraron diferencias en la composición mineral, salvo para el Se, que fue 83% mayor ( $p<0,01$ ) en el grupo suplementado.

Asimismo, se halló una respuesta inmune humoral 24% superior ( $p < 0,03$ ) en los animales suplementados, ante un desafío de inyección de células rojas porcinas.

Mora *et al.* (2010a) compararon la respuesta en ganancia de peso y medidas corporales (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 cobre, zinc y cobre más zinc vía parenteral. Los productos inyectables eran a base de gluconato de zinc y glicinato de cobre. No se encontraron diferencias en la ganancia de peso ni en las medidas corporales entre ambos grupos, probablemente debido a que la suplementación oral fue efectiva. En otro estudio, Mora *et al.* (2010b) en un grupo de 33 hembras y 34 machos sometidos similares tratamientos, encontraron un efecto negativo del zinc inyectado sobre la altura de la cruz de los animales, y se careció también de respuesta en las ganancias de peso y el perímetro torácico. Las diferencias entre ambos estudios pudieron deberse a las formas de suplementación oral y su concentración, ya que en el primero, la misma se ofreció mezclada con un suplemento protéico (23,2% PC) ofrecido a razón de 800 g/animal/día (equivalentes a 48 g/día de premezcla mineral) con una concentración de 262 mg/kg de Zn y 68 mg/kg de Cu; por su parte, en el segundo estudio, la mezcla de minerales se ofreció *ad libitum* con una concentración de 500 mg/kg de Cu y 2200 mg/kg de Zn. Además, cabe anotar que en el primer estudio, los pastos presentaron contenidos deficientes de Zn (18-24 mg/kg MS) y Cu (3,3-6,8 mg/kg MS), mientras en el segundo, los niveles en el pasto excedieron los requerimientos (Cu: 18-20 mg/kg MS, Zn: 40-44 mg/kg MS).

Chourfi *et al.* (2011) no encontraron diferencias en las ganancias de peso o consumo de materia seca de novillas cruzadas Charolais × Simmental, que fueron suplementadas con selenio vía oral o subcutánea y oral, a la vez. Sin embargo, en las novillas que recibieron la inyección se informan niveles superiores de selenio plasmático y mayor actividad de la enzima glutatión peroxidasa, dos semanas después de la inyección, pero sin diferencias al mes de la misma.

Genther y Hansen (2012) en Ames, Iowa, expusieron a novillos encastados Angus a dietas de desarrollo a base de ensilaje de maíz con los niveles recomendados de Se, Co, Mn y Cu (Grupo C) o con niveles deficientes de estos minerales y

altas concentraciones de antagonistas (Grupo D) durante 88 días. Posterior a ello los transportaron por 20 horas y midieron la merma de peso por transporte. Seguidamente los inyectaron con una solución con 15 mg Cu, 60 mg Zn, 10 mg Mn, y 5 mg Se/ml o solución salina a razón de 1 ml/68 kg de peso vivo y los sometieron a una dieta de engorde intensivo (50% maíz molido, 20% DDGS de maíz, 15% ensilaje de maíz y 10% cascarilla de soya peletizada) suplementada con niveles recomendados de Zn, Se, Mn y Cu por 90 días. En la fase de desarrollo se observaron similares ganancias de peso entre los grupos C y D, pero al someterlos a estrés por transporte, los novillos del grupo D presentaron mermas de peso 90% mayores ( $p < 0,05$ ). En la fase de finalización, los novillos del grupo D que recibieron suplemento parenteral presentaron ganancias de peso 15% mayores ( $p < 0,05$ ), pero en el grupo C no determinaron diferencias debidas al uso del inyectable. No se encontraron diferencias en el peso de la canal, el rendimiento en canal, el área de ojo de lomo, la profundidad de la grasa dorsal, la cantidad de grasa interna y el porcentaje de marmoleo debidas a la inyección con el suplemento mineral.

En otro reporte sobre el mismo estudio (Genther y Hansen 2014) se indica que los novillos del grupo D presentaron al día 71 de la fase de desarrollo, concentraciones hepáticas de Cu y Zn que caían en rango de deficiencia (79 y 1,66 mg/kg MS), mientras que los animales del grupo C presentaron niveles 2,9 y 3,65 veces mayores que el grupo D, respectivamente. Asimismo se determinó que los novillos del grupo C presentaron mejor respuesta antioxidante, menor respuesta inflamatoria y mayor respuesta neutrofilica, en comparación con el grupo D, durante la fase de desarrollo indicando una respuesta inmune mejorada y menor daño celular; no obstante, dichas diferencias se dejaron de observar debido al efecto de transporte, posiblemente por deshidratación. Como efecto de la suplementación parenteral los niveles hepáticos de Cu y Se aumentaron en 18 y 20% al final de la fase de engorde ( $p < 0,001$ ), y la actividad de la enzima manganeso-superóxido dismutasa aumentó un 10% ( $p = 0,02$ ). Esto señala que los minerales provenientes de la inyección fueron incorporados en el metabolismo y mejoraron la respuesta antioxidante. Las concentraciones de mieloperoxidasa, una enzima relacionada con la capacidad de los neutrófilos para destruir bacterias, se vio aumentada un 6% en el grupo con inyección de minerales,

en comparación al grupo C sin inyección, mientras que el grupo D no se afectó por la inyección ( $p=0,004$  para la interacción).

No se encontró diferencia en ganancia de peso, peso de canal caliente, marmoleo, profundidad de la grasa dorsal ni área de ojo de lomo; entre un grupo de terneros Gelbvieh × Angus que solo recibió suplementación mineral oral (1,2% Zn, 0,4% Cu, 0,8% Mn, 0,1% Fe, 50 mg/kg Co, 200 mg/kg I, 60 mg/kg Se) y otro que recibió minerales orales en la misma cantidad y calidad, más una inyección de minerales traza (60 mg Zn, 15 mg Cu, 10 mg Mn, y 5 mg Se/45 kg de peso vivo) 28 días antes del destete (Kegley *et al.* 2012).

Los resultados anteriores hacen dudar de la efectividad de los suplementos inyectables para mejorar la ganancia de peso en condiciones en las cuales ya hay suplementación oral, pues, al menos en el desarrollo y crecimiento, no se observan mejorías con respecto a los controles si estos ya reciben una suplementación mineral oral adecuada, apoyando consideraciones en contra del uso de soluciones minerales inyectables, pues se indica que las mismas no han mostrado los resultados deseados, porque su efecto es de corto plazo y se necesita de repetidos manejos para que se evidencien resultados, aumentando los costos de mano de obra (Grace y Knowles 2012). Sin embargo, los resultados de Chourfi *et al.* (2011), Arthinton *et al.* (2014) y Genther y Hansen (2014), indicarían la existencia de respuestas inmunológicas mejoradas en animales que reciben estos suplementos, que debieran ser evaluadas en función de su beneficio económico en condiciones de producción. Asimismo, del estudio de Genther y Hansen (2012) se podrían desprender recomendaciones a favor del uso de inyectables en sistemas de producción de engorde que compren animales que se desconozca o se dude de la calidad de la suplementación recibida durante las fases previas.

#### **3.5.4 Estudios con los suplementos parenterales por evaluar**

Los inyectables a base de butafosfán (ácido 1-(n-butilamino)-1-metiletil fosfónico) y cianocobalamina (vitamina B12, 44 mg Co/g) (entre ellos el Catosal<sup>®</sup>) se han mostrado útiles para prevenir la cetosis y otros desórdenes metabólicos asociados a la movilización de lípidos (Fürl *et al.* 2010), aumentar la cantidad y

calidad de ovocitos y embriones producidos *in vitro* (Reis *et al.* 2012) y mejorar el porcentaje de preñez en vacas sincronizadas y los servicios por concepción en vacas sometidas a protocolos de sincronización (Narváez y Núñez 2013); entre otros beneficios. Sin embargo, no se encontraron estudios que hagan referencia al uso de estas soluciones para fomentar el crecimiento y la precocidad de la pubertad en novillas.

Silva *et al.* (2009) aplicaron cuatro dosis de una solución inyectable de butafosfán y cianocobalamina a 213 animales Nelore confinados en fase de finalización, agrupados en tres tratamientos 0 ml, 10 ml y 20 ml por animal. Las inyecciones se aplicaron a los 0, 1, 2 y 30 días del inicio del engorde. Se obtuvieron mejoras de 11 y 20% en las ganancias diarias de peso al aplicar dicha solución en dosis de 10 y 20 ml, respectivamente, en comparación con el testigo.

Otrocka-Domagala *et al.* (2009) encontraron un efecto positivo del Catosal<sup>®</sup> en la regeneración de las fibras musculares del músculo *Longissimus lumborum* en cerdos que previamente recibieron una inyección con hidrocloreuro de bupicaína, un agente anestésico que provoca necrosis muscular. Los animales suplementados con este inyectable mostraron un proceso de fagocitosis aumentado y una mayor proliferación de células miogénicas. Se aduce que los aportes de P del butafosfán estimulan la síntesis protéica y de ATP, y aceleran la quimiotaxis y la fagocitosis, por su parte, la cianocobalamina, participa en la síntesis de ácido fólico, mejorando la producción de ácidos nucleicos y la eritropoyesis, así como mejorando la conversión homocisteína en metionina, que previene el daño al músculo. Si este tipo de efectos en el desarrollo muscular se dieran también en bovinos que no presentan signos de necrosis, es de esperar que se den mejorías en el desarrollo muscular, que se verían reflejados en mayores áreas de ojo de lomo.

Por su parte, soluciones parenterales de fosforilcolamina, sulfato de zinc, yoduro de potasio y selenito de sodio (por ejemplo el Calfosvit<sup>®</sup>) se han usado para potenciar el desempeño reproductivo de animales sometidos a técnicas como inseminación artificial y sincronización de celos, con resultados que mejoran las tasas de preñez al primer, segundo y tercer servicio, la tasa de concepción y

reduciendo cantidad de días abiertos; al comparar con animales sin tratar (Matamoros y Moreno 2009)

Madrid y Matamoros (2013) trataron vacas con Calfosvit<sup>®</sup> o Catosal<sup>®</sup> sometidas a protocolos de sincronización con dispositivos intravaginales y encontraron que Calfosvit<sup>®</sup> mejoró los porcentajes de preñez al primer servicio, porcentajes de preñez acumulada, días abiertos, servicios por concepción y tasa de concepción, con respecto al Catosal<sup>®</sup>.

Los estudios citados hacen pensar que la aplicación de inyectables basados en mezclas de butafosfán y vitamina B12 podrían beneficiar tanto el crecimiento de reemplazos como el desarrollo sexual previo a la pubertad, de forma que esta se alcance a una edad más temprana. Con base en la literatura encontrada hasta el momento, no se han hallado estudios que muestren los efectos de Calfosvit<sup>®</sup> con el crecimiento de novillas. Sin embargo, extrapolando los resultados encontrados con otras soluciones antes mencionadas que también hace aportes de selenio y zinc, se esperaría que ayude a mejorar el crecimiento y la respuesta inmune de las hembras bovinas.

## 4. PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍA

### 4.1 Manejo general

El trabajo se realizó en la Finca Experimental de Producción Animal, ubicada en la Estación Experimental Los Diamantes, 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 una precipitación promedio de 4577 mm/año, una humedad relativa de 87% y una temperatura de 24,5°C (IMN 2014<sup>2</sup>), clasificándose dentro de la zona de vida Bosque Tropical Muy Húmedo (Holdrige 1987, citado por Castillo-Badilla *et al.* 2011).

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 7 meses, respectivamente.

Fueron mantenidas en corrales techados de 35 m<sup>2</sup> con piso de concreto recubierto con tapetes de material sintético, comederos de 4,2 m de largo y un bebedero por corral con capacidad para 150 L. Todos los animales recibieron la misma dieta base (Cuadro 6), y un alimento balanceado (Cuadro 7) dos veces al día (06:00 y 15:00). Los suplementos orales se ofrecieron en saladeros ubicados en cada corral. La composición de los alimentos se describe en el Cuadro 8.

Cuadro 6. Alimentación durante las fases de desarrollo y engorde.

| Alimento                          | Fase 1 (<300 kg PV) | Fase 2 (>300 kg PV) |
|-----------------------------------|---------------------|---------------------|
| Alimento Balanceado Fase 1 (AB-1) | 1,5 kg              | -                   |
| Alimento Balanceado Fase 2 (AB-2) | -                   | 2 kg                |
| Urea                              | 0,1 kg              | 0,11 kg             |
| Pasto Picado <sup>1</sup>         | 5 kg                | 7 kg                |
| Banano verde picado (BV)          | 15 kg               | 20 kg               |
| Cáscara de banano maduro (CBM)    | Libre consumo       | Libre Consumo       |

<sup>1</sup>*Pennisetum purpureum* cv. King Grass, 60 días de edad.

<sup>2</sup>Instituto Meteorológico Nacional. 2014. Promedios Mensuales de Datos Climáticos. Estación Meteorológica Los Diamantes, Guápiles. (Comunicación electrónica). IMN, San José, CR.

Cuadro 7. Descripción de los alimentos balanceados empleados en el experimento.

| Ingredientes (% de inclusión, base fresca) | AB-1 | AB-2 |
|--|------|------|
| Harina de coquito de palma africana        | 33   | 30   |
| Semolina de arroz                          | 20   | 10   |
| Acemite de trigo                           | 20   | 5    |
| Maíz molido                                | 10   | 35   |
| Harina de soya                             | 10   | 0    |
| DDGS maíz                                  | 4    | 20   |
| Melaza de caña                             | 3    | 0    |

Cuadro 8. Composición nutricional de los alimentos empleados.

| Nutriente                        | SMO <sup>1</sup> | CBM <sup>2</sup>  | Pasto <sup>2</sup> | BV <sup>2</sup>   | AB-1 <sup>3</sup> | AB-2 <sup>3</sup> |
|----------------------------------|------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 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 <sup>†</sup> | 7,20 <sup>‡</sup>  | 5,07 <sup>†</sup> | 16,00             | 14,00             |
| EM (Mcal/kg MS)                  | -                | 1,92 <sup>†</sup> | 1,65 <sup>‡</sup>  | 2,51 <sup>†</sup> | 2,97              | 3,10              |
| <b>Macrominerales (% MS)</b>     |                  |                   |                    |                   |                   |                   |
| Calcio                           | 11,5             | 0,27              | 0,20               | 0,06              | 0,15              | 0,16              |
| Fósforo                          | 9                | 0,18              | 0,26               | 0,11              | 0,92              | 0,68              |
| Sodio                            | 20               | 0,023             | 0,019              | 0,006             | 0,086             | 0,057             |
| Potasio                          | -                | 4,39              | 4,91               | 2,40              | 1,84              | 0,98              |
| Magnesio                         | 1,5              | 0,14              | 0,15               | 0,12              | 0,43              | 0,31              |
| <b>Microminerales (mg/kg MS)</b> |                  |                   |                    |                   |                   |                   |
| Zinc                             | 4 000            | 15,97             | 25,80              | 10,78             | 63,48             | 46,30             |
| Manganeso                        | 1 000            | 55,04             | 102,77             | 16,09             | 83,07             | 66,30             |
| Hierro                           | 250              | 307,91            | 202,77             | 198,38            | 202,99            | 118,30            |
| Cobre                            | 1 000            | 8,78              | 7,68               | 4,92              | 13,28             | 12,82             |
| Yodo                             | 75               | 34,90             | 21,20              | 59,60             | ND                | ND                |
| Cobalto                          | 15               | MLD               | MLD                | MLD               | ND                | ND                |
| 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). ND: No Disponible. <sup>1</sup>Mezcla 50:50 de Pecutrín® vitaminado y sal blanca, composición según análisis garantizado. <sup>2</sup>Composición determinada en el Centro de Investigaciones en Nutrición Animal. Materia seca, cenizas, Ca, P, Mg, Na, K, Zn, Mn, Se y Cu según AOAC (2012); I, Mo y Co según Hoover *et al.* (1971), Curtis y Grusovin (1985) y Blanchflower *et al.* (1990) respectivamente. <sup>3</sup>Composición mineral estimada según NRC (2001), Batal y Dale (2003), Alimon (2004) y Mata (2011). <sup>†</sup>Según Herrera (2002). <sup>‡</sup>Según Sánchez y Soto (1999a). <sup>‡</sup>Según Sánchez y Soto (1999b).

## 4.2 Distribución de los animales y descripción de los tratamientos

Las 42 novillas fueron pesadas 31 días antes del inicio del experimento (peso promedio: 223±19 kg). Fueron ordenadas de mayor a menor por su peso, formando seis estratos de cuatro novillas y seis de tres. Seis novillas (provenientes de los estratos de cuatro novillas) fueron asignadas aleatoriamente a un tratamiento de referencia (SAL), el cual fue ubicado en un corral separado del resto. Este grupo recibió sal blanca (NaCl) *ad libitum* como único suplemento mineral y una inyección mensual de solución salina, para simular el estrés de otros tratamientos.

Las restantes 36 novillas fueron asignadas a uno de los tres tratamientos con soluciones parenterales (Cuadro 9) y alojadas en seis corrales. En cada corral se alojaron dos estratos y las tres novillas de cada estrato se asignaron aleatoriamente a los tres tratamientos. Todas recibieron un suplemento mineral oral con la composición descrita en el Cuadro 8 y una inyección mensual con solución salina (grupo CON) o una de las dos soluciones parenterales evaluadas, a razón de 1 ml/20 kg de peso vivo.

Cuadro 9. Aporte de minerales de los tratamientos parenterales evaluados.

| Tratamiento | Solución inyectable     | P       | Zn | I  | Se  | Co      |
|-------------|-------------------------|---------|----|----|-----|---------|
|             |                         | (mg/ml) |    |    |     | (µg/ml) |
| CON         | Salina (Placebo)        | –       | –  | –  | –   | –       |
| CAT         | Catosal <sup>®1</sup>   | 17,3    | –  | –  | –   | 2,2     |
| CLF         | Calfosvit <sup>®2</sup> | 22      | 3  | 15 | 0,1 | –       |

<sup>1</sup>Composición (por ml): 100 mg de butafosfán y 50 µg de cianocobalamina. <sup>2</sup>Composición (por ml): 100 mg de fosforilcolamina, 13,19 mg de sulfato de zinc, 20 mg de yoduro de potasio y 0,22 mg de selenito de sodio

## 4.3 Mediciones

El experimento tuvo una duración de 286 días (Mayo 2014-Marzo 2015), en los cuales se tomaron mediciones a través del tiempo. El peso fue evaluado una vez al mes mediante una báscula portátil Ezi-Weigh 7<sup>®</sup> equipada con barras de carga MP600<sup>®</sup> (Tru-Test Group, Auckland, Nueva Zelanda) con una precisión de ±1 kg, aproximadamente a la misma hora, por la misma persona.

Las medidas zoométricas fueron tomadas cada dos meses el mismo día de la medición del peso, siempre por la misma persona, con los animales contenidos en una manga ganadera y de acuerdo con las metodologías descritas por Parés-Casanova (2009) y tomando en cuenta los puntos de referencia que se describen en la sección 3.2 de este trabajo. Para obtener la ANC y ANI se utilizaron calibres metálicos graduados en milímetros, para el LL y LC se utilizó una regla de madera, graduada en milímetros, para la AC y AG se empleó un bastón zoométrico, finalmente, la CT se evaluó con una cinta métrica graduada en milímetros (Figuras 1 y 2). Además se calcularon los siguientes índices zoométricos: Proporcionalidad ( $IP=AC/LC \times 100$ ), Anamorfosis ( $IA=CT^2/AC \times 100$ ), Pelviano Transversal ( $IPT=ANC/AC \times 100$ ) y Compacidad ( $IC=PV/AC \times 100$ ) (Cuadro 3).

Las mediciones ultrasonográficas (AOL y PGD, Figura 3) fueron llevadas a cabo por personal entrenado, con un ultrasonido Aquila<sup>®</sup> (Esaote S.P.A, Génova, Italia) equipado con un transductor lineal ASP18 y un acoplador acústico. Para ello se limpiaba de suciedad la zona de las costillas y se localizaba el decimosegundo espacio intercostal, se aplicaba aceite vegetal para mejorar el acople y se colocaba la sonda. Las medidas ultrasonográficas fueron planeadas para realizarse cada tres meses, pero, debido a un desperfecto en el equipo se realizaron únicamente a los 25 y 119 días.

#### **4.4 Análisis estadístico**

El efecto de la suplementación oral con una mezcla mineral completa se determinó comparando las mediciones del grupo de referencia (SAL) con las de seis novillas de peso similar que recibían el tratamiento CON (este grupo de 6 novillas seleccionadas se denominará en adelante CON<sub>6</sub>, con el fin de diferenciarlo del grupo CON, que tiene 12 novillas). Por su parte, a fin de evaluar el efecto del uso de suplementos inyectables, se comparó los resultados de los grupos CON, CAT y CLF.

La estructura de los efectos fijos siguió el modelo planteado en la Ecuación 1 para todas las variables analizadas, excepto para las medidas ultrasonográficas (AOL y PGD), en las cuales, no se obtuvo una medición al inicio del experimento, por lo cual la covariable no se incluyó (Ecuación 2).

$$\text{Ecuación 1. } Y_{ijk} = T_i + \delta_{ij} + t_k + (T^*t)_{ik} + \beta(X_{ik} - \bar{X}_{..}) + \epsilon_{ijk}$$

$$\text{Ecuación 2. } Y_{ijk} = T_i + \delta_{ij} + t_k + (T^*t)_{ik} + \epsilon_{ijk}$$

Donde

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

$\mu$  es la media poblacional.

$T_i$  es el efecto del tratamiento  $i$ -ésimo.

$\delta_{ij}$  es el error aleatorio correspondiente a la variación entre animales que recibieron el mismo tratamiento.

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

$\beta$  es el coeficiente de regresión entre  $X$  y  $Y$ .

$X_{ik}$  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.

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

$\epsilon_{ijk}$  es el error aleatorio asociado a la medición  $Y_{ijk}$  debido a la variación entre medidas en el mismo animal.

Para el análisis se empleó un modelo de medidas repetidas en el tiempo, usando la instrucción REPEATED del procedimiento MIXED de SAS/STAT 9.3 (SAS Institute Inc. 2011). La estructura de covarianzas de medidas repetidas para cada variable se determinó según Littell *et al.* (2000). Brevemente, se obtienen las estructuras de covarianzas observadas para ver cuáles modelos podrían aproximarse. Luego se prueban los posibles modelos y se escoge con base en los criterios de ajuste (-2 log verosimilitud, AIC y BIC). De esta forma, se seleccionaron dos estructuras de covarianza: "autorregresiva heterogénea de orden 1" (usada para Peso, GDP, AG, AC, ANC, ANI, LL y LC) y "simetría compuesta heterogénea" (usada para CT, IP, IA, IC, IPT, AOL y PGD).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Resultados

Dos novillas no pudieron completar el experimento. Se procedió a ignorar los datos recolectados de estas novillas, aunque las conclusiones obtenidas mediante el procedimiento MIXED no se ven afectadas ante la existencia de datos perdidos (Littell *et al.* 2000) porque se consideró que su salida del experimento fue muy temprana y podía resultar irreal la estimación de tantas observaciones perdidas.

#### 5.1.1 Comparación entre tratamientos orales

Cuadro 10. Medias, errores estándar y valores-p asociados a la comparación de las medias de peso, ganancia diaria de peso y medidas zoométricas, en novillas *Bos taurus* × *Bos indicus* suplementadas con un multimineral oral (CON<sub>6</sub>) o con sal blanca (SAL). Guápiles, Costa Rica.

| Variable  | SAL (n=6) |      | CON <sub>6</sub> (n=5) |      | Valor-p |        |          |        |
|-----------|-----------|------|------------------------|------|---------|--------|----------|--------|
|           | Media     | EE   | Media                  | EE   | Trat    | Tmp    | Trat*Tmp | Cov    |
| Peso (kg) | 340,9     | 7,4  | 334,9                  | 8,1  | 0,597   | <0,001 | 0,510    | <0,001 |
| GDP (g/d) | 625,6     | 36,6 | 579,0                  | 41,1 | 0,477   | <0,001 | 0,086    | 0,509  |
| CT (cm)   | 167,8     | 0,9  | 168,0                  | 1,0  | 0,850   | <0,001 | 0,702    | <0,001 |
| AG (cm)   | 129,4     | 0,7  | 128,9                  | 0,8  | 0,630   | <0,001 | 0,124    | 0,003  |
| AC (cm)   | 124,0     | 0,7  | 123,2                  | 0,8  | 0,487   | <0,001 | 0,899    | <0,001 |
| ANC (cm)  | 41,4      | 0,3  | 42,5                   | 0,3  | 0,045   | <0,001 | 0,009    | 0,014  |
| ANI (cm)  | 27,8      | 0,2  | 27,7                   | 0,2  | 0,786   | <0,001 | 0,155    | 0,055  |
| LL (cm)   | 106,9     | 0,5  | 104,8                  | 0,6  | 0,101   | <0,001 | 0,593    | 0,035  |
| LC (cm)   | 120,0     | 0,8  | 121,4                  | 0,9  | 0,066   | <0,001 | 0,476    | 0,317  |

GDP: Ganancia Diaria de Peso, CT: Circunferencia Torácica, AG: Altura a la Grupa, AC: Altura a la Cruz, ANC: Ancho de Caderas, ANI: Anchura entre isquiones, LL: Largo del Lomo, LC: Largo del Cuerpo, Trat: Tratamiento, Tmp: Tiempo, Cov: Covariable.

El uso de un SMO no afectó ( $p > 0,05$ ) los pesos y las GDP en las condiciones evaluadas, al compararlo con un grupo que consumió solamente sal blanca (Cuadro 10, Figuras 4 y 5A). Se registró un efecto significativo del día de medición en peso y GDP, lo cual indica que se observaron diferencias significativas entre las medias de las evaluaciones. Lo anterior es de esperar para el peso, pues tales diferencias son indicativas de que hubo crecimiento a través del tiempo, pero en el caso de la GDP indica que no se logró mantener una uniformidad en las ganancias a través del tiempo (Figura 5A) y se dieron fluctuaciones importantes, con pérdidas de peso entre

los 70 y 98 días y ganancias mayores a 1 kg/día entre los 127 y 153, así como entre los 216 y 251 días. La interacción entre el tratamiento y el tiempo no fue significativa ni para el peso ni para la GDP. La covariable incluida en el modelo tuvo un efecto significativo en el peso mas no en GDP.

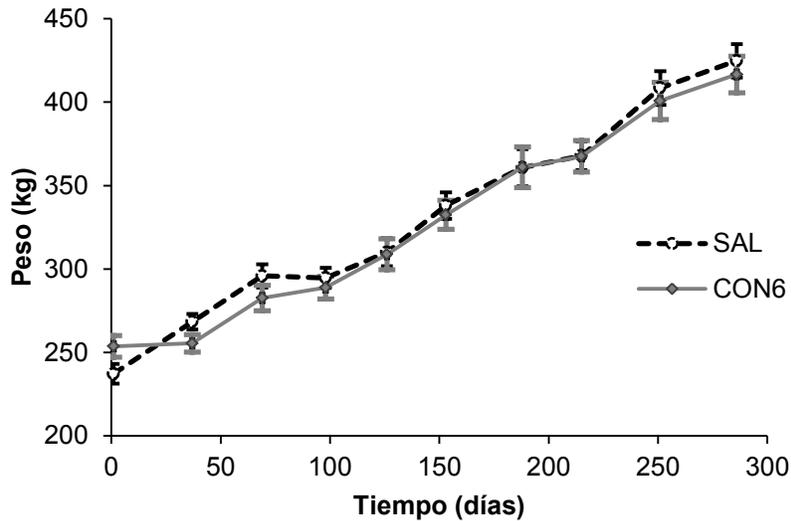


Figura 4. Pesos, a través del tiempo, para los dos grupos de novillas de la prueba de suplementos orales (Media  $\pm$  EE).

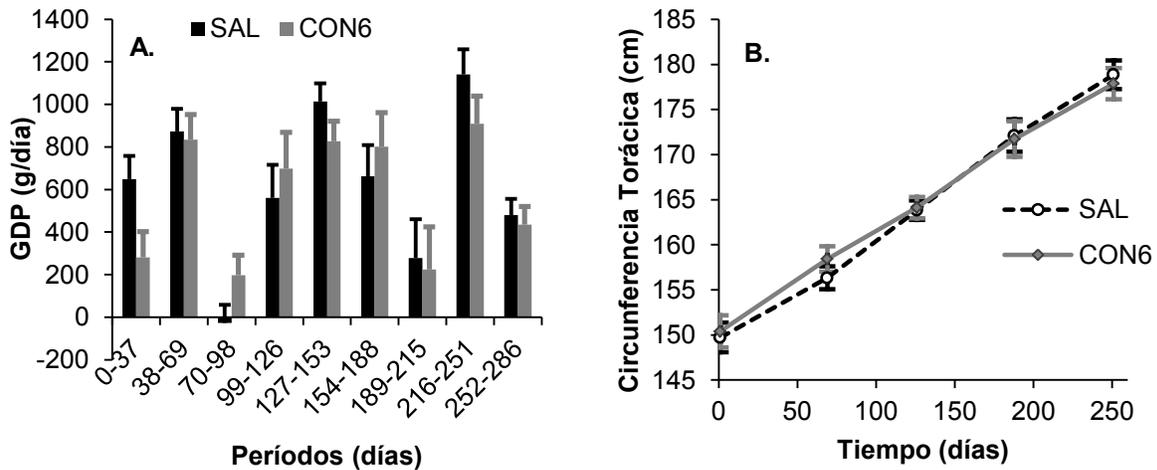


Figura 5. Ganancias diarias de peso (panel A) y circunferencia torácica (panel B), a través del tiempo, para los dos grupos de novillas de la prueba de suplementos orales (Media  $\pm$  EE).

No se detectó efecto significativo del uso de un suplemento multimineral en la CT, AC y AG de los animales evaluados (Cuadro 10 y Figuras 5B y 6). Las tres variables presentaron un crecimiento prácticamente lineal a través del tiempo, con tasas de 0,11 cm/día la CT, 0,045 cm/día la AC y 0,048 cm/día la AG. No se observó una interacción tratamiento\*tiempo significativa para ninguna de las tres variables. La covariable presentó una influencia significativa en los tres modelos ( $p < 0,05$ ).

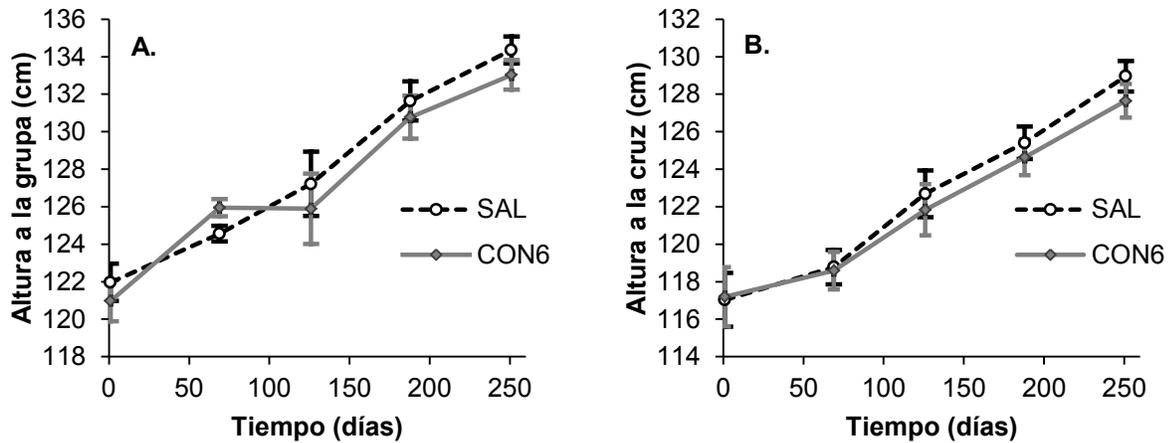


Figura 6. Altura a la grupa (panel A) y a la cruz (panel B), a través del tiempo, para los dos grupos de novillas de la prueba de suplementos orales (Medias  $\pm$  EE).

El uso de un suplemento mineral completo aumentó, por término medio, un 2,6%, ( $p = 0,045$ ) el ancho de las caderas con respecto al grupo que solo recibió cloruro de sodio (Cuadro 10, Figura 7A). La interacción tratamiento\*tiempo fue significativa ( $p = 0,009$ ) ya que no hubo diferencias entre ambos grupos al inicio del experimento ( $p > 0,05$ ), pero a los 69 días (aproximadamente 12 meses de edad) las novillas del grupo CON<sub>6</sub> presentaban 1,06 cm más de ANC ( $p = 0,0104$ ). Dicha diferencia se duplicó para el día 126 (a una edad aproximada de 14 meses) (+2,32 cm;  $p = 0,0007$ ), se redujo a 1,13 cm el día 188 (16 meses de edad,  $p = 0,0327$ ) y cerró en 0,07 cm a los 18 meses de edad ( $p = 0,9342$ ).

La media de ANI se incrementó 6,20 cm (25%) entre el inicio y el final del experimento ( $p < 0,001$  para el efecto del día de medición) sin verse afectada por la suplementación mineral o la interacción tratamiento\*tiempo (Figura 7B). Contrario al ANC y otras medidas comentadas antes, la covariable no resultó significativa.

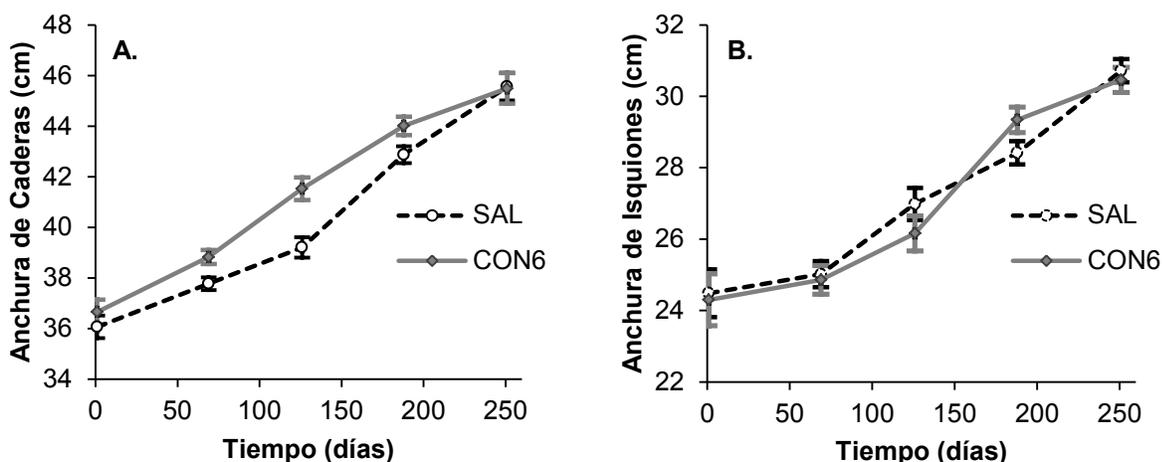


Figura 7. Ancho de caderas (panel A) y entre isquiones (panel B), a través del tiempo, para los dos grupos de novillas de la prueba de suplementos orales (Media  $\pm$  EE).

No se determinó efecto del SMO sobre LL y LC (Cuadro 10). La Figura 8A muestra que las novillas del grupo SAL presentaron mayores valores iniciales de LL que las del grupo CON<sub>6</sub> (+5 cm,  $p=0,0479$ ), pero dichas diferencias se redujeron de manera paulatina con el tiempo, alcanzando 0,7 cm en la última evaluación ( $p=0,6220$ ). Así, aunque la media del tratamiento SAL fue numéricamente mayor durante el experimento, las novillas que solo consumieron NaCl aumentaron 0,048 cm/día, mientras el grupo suplementado 0,055 cm/día. Al comparar ambos grupos por su LC, las novillas del tratamiento CON<sub>6</sub> mostraron un desarrollo 2,5% mayor del largo corporal ( $p=0,0659$ ). La inclusión de la covariable fue significativa ( $p<0,05$ ) en el modelo del LC mas no en el de LL.

El Cuadro 11 y las Figuras 9 y 10 muestran que no se encontró efecto de la suplementación mineral oral en los índices zoométricos y que la covariable presentó una influencia significativa ( $p<0,05$ ) en todos salvo el IA. Se denota que el día de medición no afectó de manera significativa al IP ( $p=0,385$ ), mientras que el IA creció de manera lineal a lo largo del tiempo, mostrando diferencias entre días de medición ( $p<0,001$ ). Por su parte el índice de compacidad mostró un aumento acelerado entre los días 1 y 69 (10 y 12 meses de edad aproximada), mostrando un estancamiento en las mediciones posteriores, debido a que se ganó menos peso por cada

centímetro de aumento de la altura a la cruz. Se detectaron diferencias significativas de los valores de IPT a favor del grupo CON<sub>6</sub> a los 61 (+0,78, p=0,0368) y 126 días (+1,97, p=0,0054), resultado de la interacción tratamiento\*tiempo (p=0,0543).

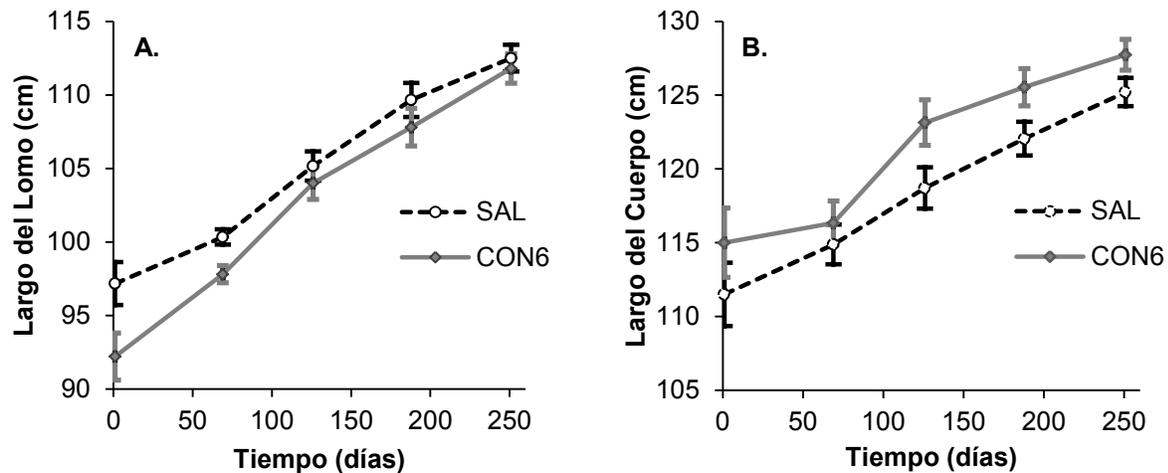


Figura 8. Largo del lomo (panel A) y largo del cuerpo (panel B), a través del tiempo, para los dos grupos de novillas en la prueba de suplementos orales. (Medias  $\pm$  EE)

Cuadro 11. Medias, errores estándar y valores-p asociados a la comparación de las medias de índices zoométricos, área de ojo de lomo y profundidad de la grasa dorsal, en novillas *Bos taurus*  $\times$  *Bos indicus* suplementadas con un multimineral oral (CON<sub>6</sub>) o con sal blanca (SAL). Guápiles, Costa Rica.

| Variable               | SAL (n=6) |      | CON <sub>6</sub> (n=5) |      | Valor-p |        |          |        |
|------------------------|-----------|------|------------------------|------|---------|--------|----------|--------|
|                        | Media     | EE   | Media                  | EE   | Trat    | Tmp    | Trat*Tmp | Cov    |
| IP                     | 103,0     | 1,1  | 100,3                  | 1,3  | 0,158   | 0,439  | 0,634    | 0,031  |
| IA                     | 2,27      | 0,02 | 2,29                   | 0,02 | 0,553   | <0,001 | 0,768    | 0,228  |
| IC                     | 246,3     | 4,0  | 250,0                  | 4,4  | 0,569   | <0,001 | 0,060    | <0,001 |
| IPT                    | 33,4      | 0,3  | 34,4                   | 0,3  | 0,067   | <0,001 | 0,054    | <0,001 |
| AOL (cm <sup>2</sup> ) | 40,9      | 0,9  | 44,9                   | 1,0  | 0,014   | <0,001 | 0,185    | –      |
| PGD (mm)               | 2,81      | 0,18 | 3,35                   | 0,20 | 0,073   | <0,001 | 0,889    | –      |

IP: Índice de Proporcionalidad, ICO: Índice de corporalidad, IA: Índice de Anamorfosis, IC: Índice de compacidad, IPT: Índice pélvico transversal, AOL: Área de Ojo de Lomo, PGD: Profundidad de la Grasa Dorsal, Trat: Tratamiento, Tmp: Tiempo, Cov: Covariable.

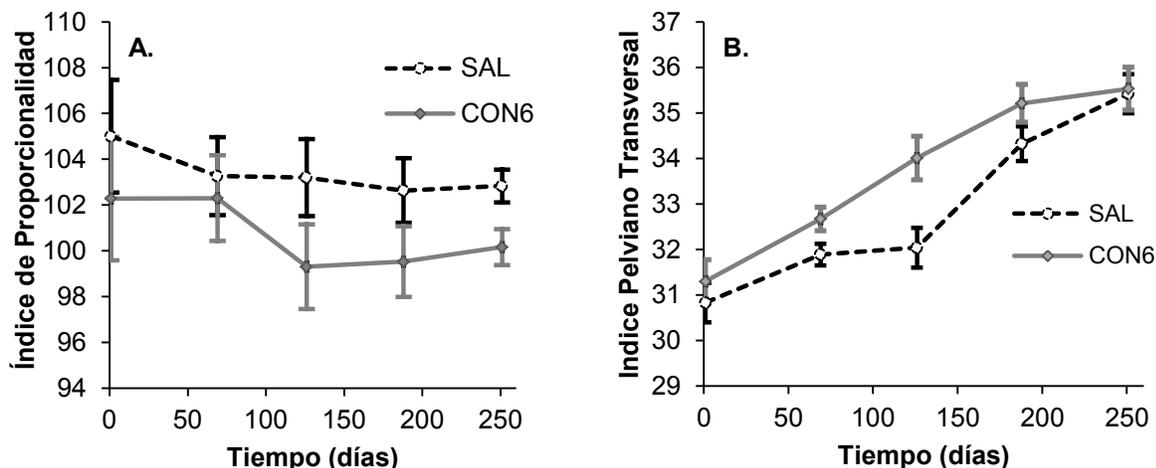


Figura 9. Índices de proporcionalidad (panel A) y pelviano transversal (panel B), a través del tiempo, para los dos grupos de novillas de la prueba de suplementos orales (Medias  $\pm$  EE).

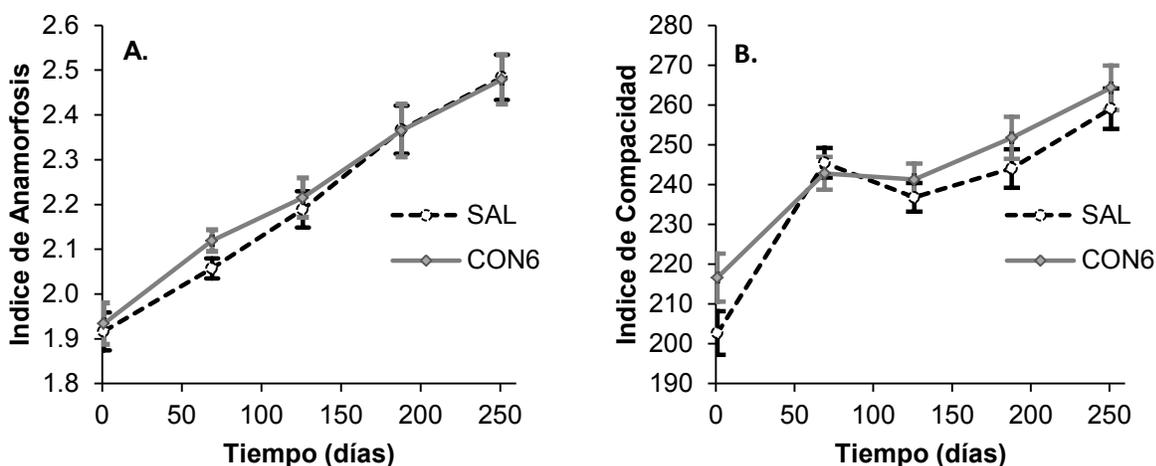


Figura 10. Índices de anamorfosis (panel A) y compacidad (panel B) a través del tiempo, para los dos grupos de novillas de la prueba de suplementos orales (Media  $\pm$  EE)

La media para la variable AOL es mayor en el grupo CON<sub>6</sub> (Cuadro 11). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que no se tomó una medida el día 0. Si se considera que la medida al día 25 es la medida basal, entonces el efecto observado se debe más a que los grupos presentaron AOL iniciales diferentes ( $p=0,0222$ ), que luego se nivelaron ( $p=0,1267$ ), aumentando 19,3 cm<sup>2</sup> el grupo SAL y 16,7 cm<sup>2</sup> el grupo CON<sub>6</sub>. Pero, si se considera que en la medición realizada a los 25 días ya existía un efecto del suplemento, y se supone que ambos grupos presentaron una

AOL similar al inicio del experimento, se podría concluir que se encontró efecto de la suplementación mineral, pero que este se perdió con el paso del tiempo. Con todo, la falta de más mediciones no permite establecer si existió alguna diferencia en la AOL entre ambos grupos.

El Cuadro 11 indica que la provisión de minerales orales no afectó la deposición de grasa dorsal ( $p=0,0732$ ). Al igual que otras variables analizadas previamente, el efecto del tiempo fue significativo ( $p=0,0006$ ), indicando que las variables presentaron un crecimiento a lo largo del período de evaluación, pero, la interacción tratamiento\*tiempo no resultó significativa ( $p=0,8890$ ). La Figura 11 muestra que en ambos tratamientos hubo un grupo de cuatro animales para los cuales la profundidad de la grasa dorsal creció en menos de un milímetro (0,4 mm en promedio) en el tiempo entre mediciones, pero en los restantes, la diferencia entre la segunda medición y la primera fue mayor a 1,2 mm (1,94 mm en promedio).

Es importante analizar la precisión de las estimaciones de las medias para las diferentes variables analizadas (Cuadros 10 y 11). Los promedios estimados con menor precisión corresponden a los de GDP y PGD (6-7%) y se obtuvo precisiones intermedias para IP, IC y AOL (1-3%). Las medias para las restantes variables se obtuvieron con precisiones menores al 1%.

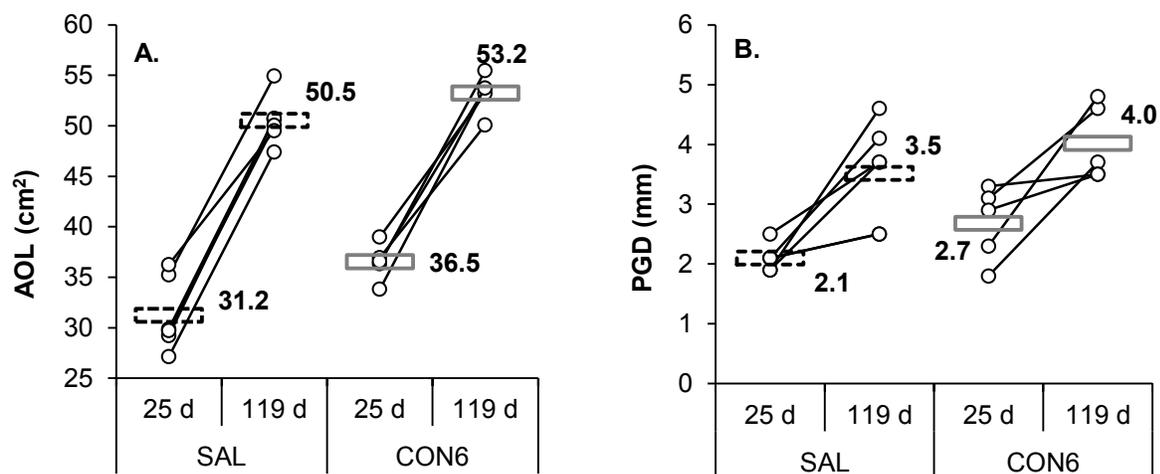


Figura 11. Valores individuales (puntos unidos por líneas) y medias grupales (barras horizontales) del área de ojo de lomo (panel A) y profundidad de la grasa dorsal (panel B), a los 25 y 119 días, para las novillas de la prueba de suplementos orales.

### 5.1.2 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 el Cuadro 12. Para todas las variables se encontró un efecto significativo del día de medición, lo cual indica que los animales crecieron a lo largo del experimento en todas las evaluaciones, salvo para la ganancia diaria de peso, la cual no presentó un crecimiento, sino que fluctuó a lo largo del experimento, entre los 200 y los 1000 g/día (Figura 13). Ninguna variable experimentó efecto significativo de la interacción tratamiento\* tiempo de medición, indicando que la evolución de las medidas se mantuvo relativamente constante entre grupos. Todos los modelos fueron afectados significativamente por la inclusión de la covariable ( $p < 0,04$ ). El uso de un suplemento inyectable en conjunto con minerales orales, no tuvo efecto ( $p > 0,05$ ) en el peso, GDP, ni en ninguna medida zoométrica (Cuadro 12 y Figuras 12, 13, 14, 15 y 16).

Cuadro 12. Medias, errores estándar y valores-p asociados a la comparación de las medias de peso, ganancia diaria de peso y medidas zoométricas, en novillas *Bos taurus* × *Bos indicus* suplementadas únicamente con un multimineral oral (CON) o con este más dos soluciones parenterales (CAT y CLF). Guápiles, Costa Rica.

| Variable  | CON (n=11) |      | CAT (n=12) |      | CLF (n=11) |      | Valor-p |        |          |        |
|-----------|------------|------|------------|------|------------|------|---------|--------|----------|--------|
|           | Media      | EE   | Media      | EE   | Media      | EE   | Trat    | Tmp    | Trat*Tmp | Cov    |
| Peso (kg) | 343,8      | 5,9  | 348,5      | 5,7  | 348,4      | 6,0  | 0,817   | <0,001 | 0,885    | <0,001 |
| GDP (g/d) | 589,1      | 26,7 | 599,8      | 25,6 | 629,5      | 26,8 | 0,549   | <0,001 | 0,898    | 0,037  |
| CT (cm)   | 168,8      | 1,3  | 171,0      | 1,2  | 170,0      | 1,3  | 0,486   | <0,001 | 0,620    | <0,001 |
| AG (cm)   | 129,2      | 0,6  | 130,2      | 0,5  | 129,3      | 0,6  | 0,407   | <0,001 | 0,933    | <0,001 |
| AC (cm)   | 123,5      | 0,7  | 125,5      | 0,6  | 124,5      | 0,6  | 0,116   | <0,001 | 0,240    | <0,001 |
| ANC (cm)  | 43,2       | 0,3  | 43,0       | 0,3  | 42,2       | 0,3  | 0,080   | <0,001 | 0,495    | <0,001 |
| ANI (cm)  | 27,7       | 0,3  | 28,2       | 0,3  | 28,3       | 0,4  | 0,370   | <0,001 | 0,725    | 0,002  |
| LL (cm)   | 105,1      | 0,7  | 106,0      | 0,7  | 105,8      | 0,7  | 0,662   | <0,001 | 0,543    | <0,001 |
| LC (cm)   | 121,8      | 0,9  | 119,8      | 0,9  | 122,2      | 0,9  | 0,162   | <0,001 | 0,214    | <0,001 |

GDP: Ganancia Diaria de Peso, CT: Circunferencia Torácica, AG: Altura a la Grupa, AC: Altura a la Cruz, ANC: Ancho de Caderas, ANI: Anchura entre isquiones, LL: Largo del Lomo, LC: Largo del Cuerpo, Trat: Tratamiento, Tmp: Tiempo, Cov: Covariable.

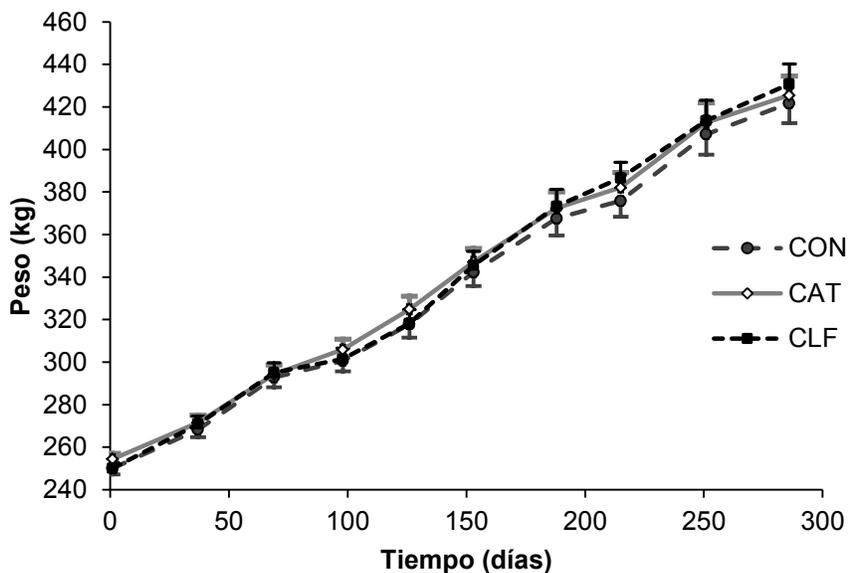


Figura 12. Peso, a través del tiempo, de las novillas según el tratamiento inyectable empleado (Medias  $\pm$  EE)

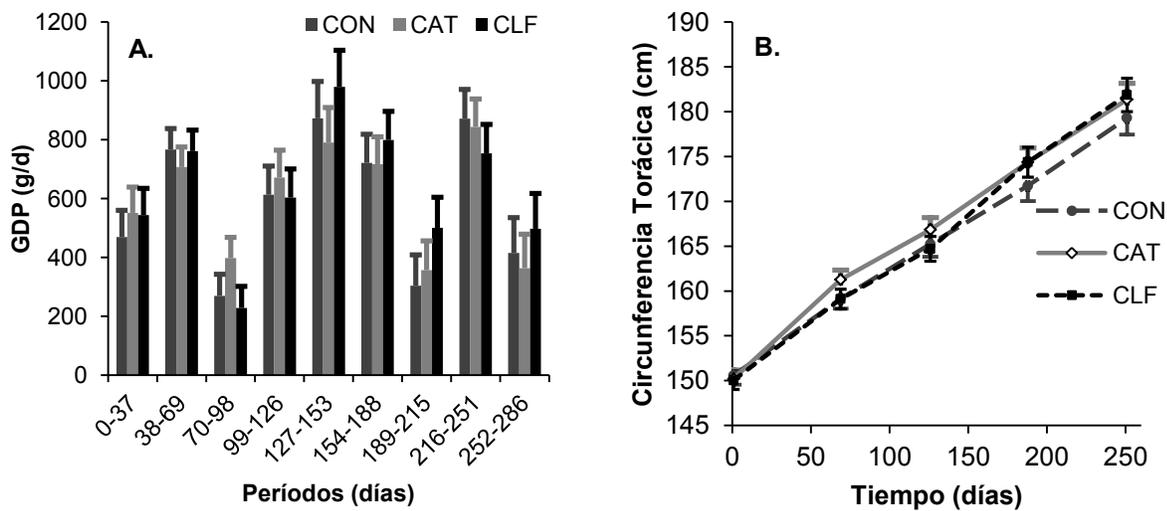


Figura 13. Ganancia diaria de peso (panel A) y circunferencia torácica (panel B) a través del tiempo según el tratamiento inyectable empleado (Medias  $\pm$  EE)

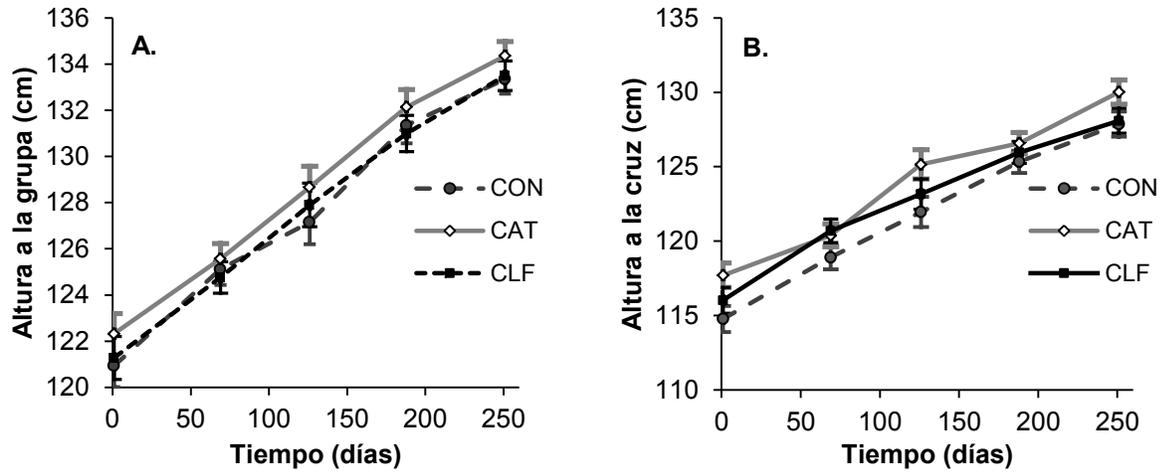


Figura 14. Altura a la grupa (panel A) y altura a la cruz (panel B), a través del tiempo, según el tratamiento inyectable empleado (Medias  $\pm$  EE)

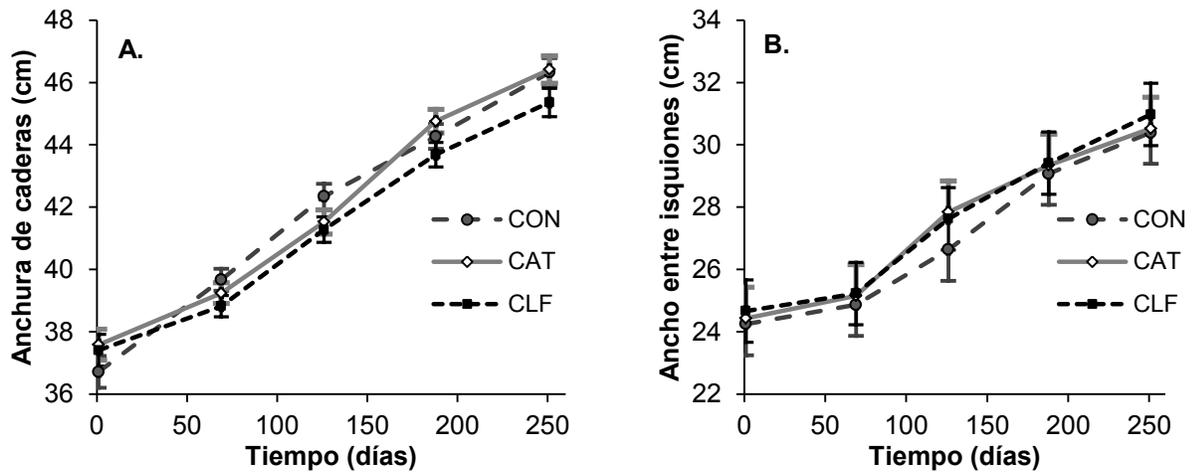


Figura 15. Ancho de caderas (panel A) y ancho de isquiones (panel B) a través del tiempo, según el tratamiento inyectable empleado (Medias  $\pm$  EE)

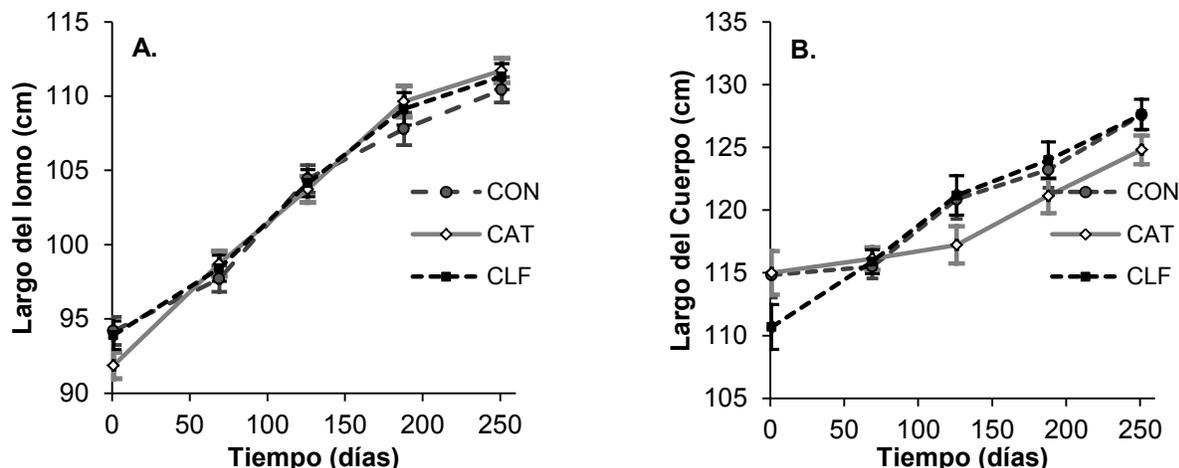


Figura 16. Largo del lomo (panel A) y largo del cuerpo (panel B), a través del tiempo, según el tratamiento inyectable empleado (Medias  $\pm$  EE)

El índice de proporcionalidad se mostró afectado por el tratamiento, el tiempo, la interacción entre el tratamiento y tiempo y la covariable (Cuadro 13). El grupo CAT mostró una tendencia creciente hasta los 126 días (14 meses de edad), para decrecer paulatinamente después (Figura 17B). A los 126 días el grupo CAT mostró diferencias de 6,5 unidades sobre el grupo CON ( $p=0,0025$ ) y de 5,0 unidades sobre el CLF ( $p=0,0181$ ). Dichas diferencias se redujeron en la medición realizada a los 188 días (3,4 unidades sobre CON y 2,6 unidades sobre CLF, con  $p=0,0713$  y  $p=0,1667$  respectivamente); volviéndose a manifestar en la última medición (4,4 unidades sobre CON y 3,5 unidades sobre CLF, con  $p=0,0003$  y  $p=0,0037$  respectivamente). Por su parte, aunque las novillas del tratamiento CLF presentaron, al inicio del experimento, valores de IP 4,7 unidades superiores a los de las novillas del grupo CON ( $p=0,0235$ ) perdieron dicha ventaja con el avance del experimento, reduciéndose hasta 0,8 unidades en el día 251.

Ningún otro índice morfológico presentó diferencias debidas al tratamiento o a interacciones tiempo\*tratamiento (Cuadro 13). Tampoco las mediciones ultrasonográficas del desarrollo de la grasa subcutánea (PGD) y el desarrollo muscular (AOL) se mostraron afectadas por dichas fuentes de variación. Se evidencia un efecto significativo del tiempo en todas las variables y de la covariable en los índices zoométricos (Cuadro 13 y Figuras 16, 17, 18 y 19).

Al analizar las estimaciones de medias (Cuadros 12 y 13) se detecta que la menor precisión se obtuvo en PGD (5-6%), seguida de la GDP (~4%). La precisión de las medias de peso, ANI, IA, IC y AOL se observó entre el 1 y 2% y para las restantes variables la precisión es <1%.

Cuadro 13. Medias, errores estándar y valores-p asociados a la comparación de las medias de índices zoométricos, área de ojo de lomo y profundidad de la grasa dorsal, en novillas *Bos taurus* × *Bos indicus* suplementadas únicamente con un multimineral oral (CON) o con este más dos soluciones parenterales (CAT y CLF). Guápiles, Costa Rica.

| Variable               | CON (n=11) |      | CAT (n=12) |      | CLF (n=11) |      | Valor-p |        |          |        |
|------------------------|------------|------|------------|------|------------|------|---------|--------|----------|--------|
|                        | Media      | EE   | Media      | EE   | Media      | EE   | Trat    | Tmp    | Trat*Tmp | Cov    |
| IP                     | 101,1      | 0,9  | 105,0      | 0,8  | 102,4      | 0,9  | 0,008   | 0,013  | 0,039    | 0,001  |
| IA                     | 2,32       | 0,03 | 2,33       | 0,03 | 2,33       | 0,03 | 0,959   | <0,001 | 0,371    | <0,001 |
| IC                     | 252,6      | 3,8  | 253,8      | 3,6  | 252,9      | 3,8  | 0,969   | <0,001 | 0,698    | <0,001 |
| IPT                    | 34,8       | 0,3  | 34,3       | 0,3  | 33,9       | 0,3  | 0,101   | <0,001 | 0,292    | <0,001 |
| AOL (cm <sup>2</sup> ) | 43,5       | 0,9  | 43,4       | 0,9  | 44,2       | 0,9  | 0,822   | <0,001 | 0,875    | —      |
| PGD (mm)               | 3,6        | 0,2  | 3,3        | 0,2  | 3,6        | 0,2  | 0,445   | <0,001 | 0,744    | —      |

<sup>a,b</sup> Medias en la misma fila con letras diferentes difieren significativamente (p<0,05). IP: Índice de Proporcionalidad, IA: Índice de Anamorfosis, IC: Índice de compacidad, IPT: Índice pélvico transversal, AOL: Área de Ojo de Lomo, PGD: Profundidad de la Grasa Dorsal, Trat: Tratamiento, Tmp: Tiempo, Cov: Covariable.

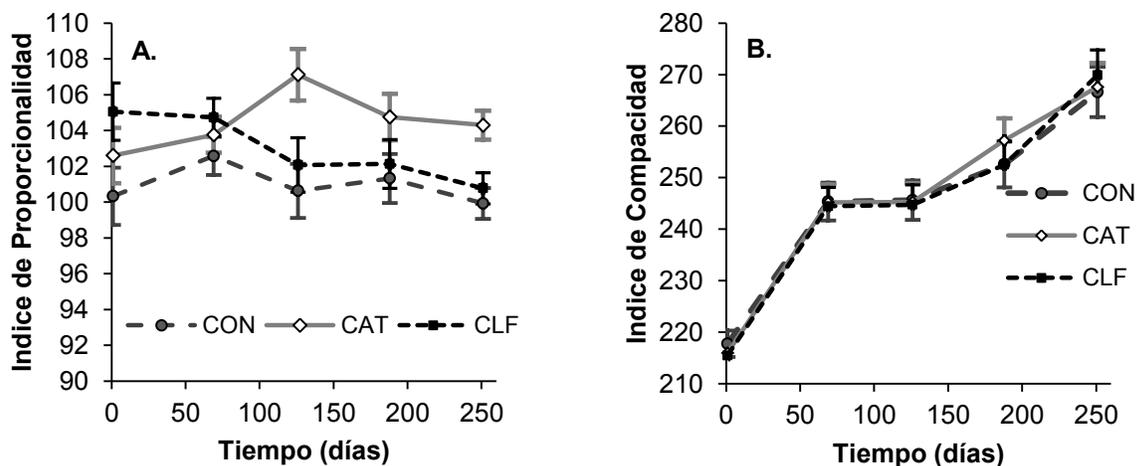


Figura 17. Índices de proporcionalidad (panel A) y compacidad (panel B), a través del tiempo, según el suplemento inyectable aplicado (Medias ± EE)

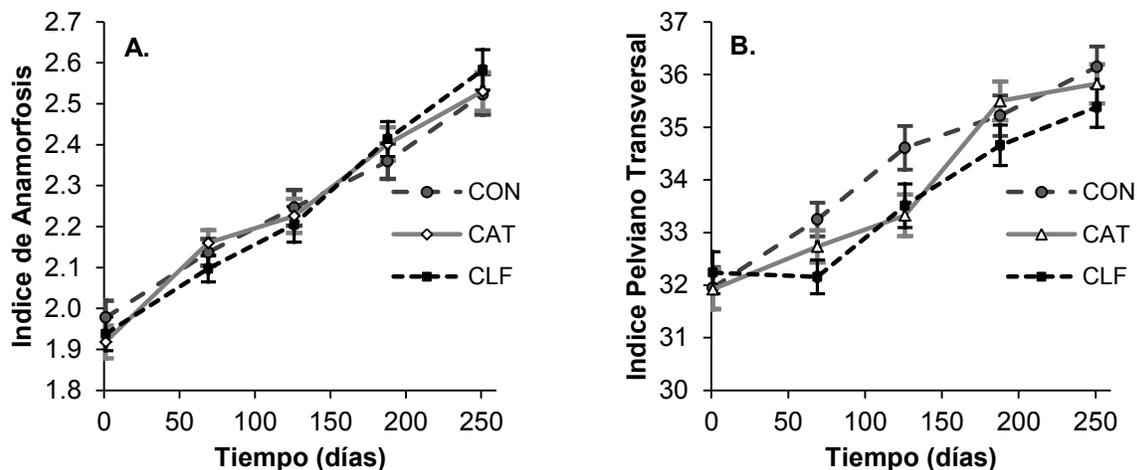


Figura 18. Índices de anamorfosis (panel A) y pelviano transversal (panel B), a través del tiempo, según el suplemento inyectable aplicado (Medias  $\pm$  EE)

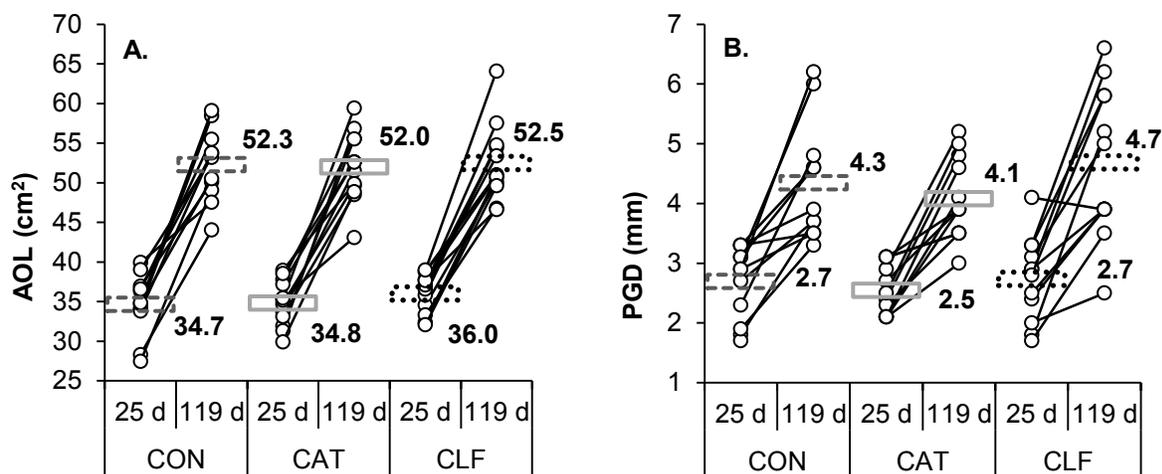


Figura 19. Valores individuales (puntos unidos por líneas) y medias grupales (barras horizontales) del área de ojo de lomo (panel A) y la profundidad de la grasa dorsal (panel B), a los 25 y 119 días, para las novillas de la prueba de suplementos parenterales.

## 5.2 Discusión

No se encontró diferencias significativas en peso y ganancia diaria de peso debidas al uso de un suplemento mineral oral. La falta de respuesta en el peso y la ganancia diaria de peso ante el uso de un suplemento multimineral oral, que se dio en el presente estudio muestra similitud con lo que observaron otros autores, como

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.

Otros autores indican resultados variables, por ejemplo, Botacio y Garmendia (1997) y Obispo *et al.* (2002) observaron que el uso de suplementos multiminerales tuvo efecto en ciertas épocas del año, mientras que en otras no, a pesar de evidenciarse ciertas deficiencias de minerales en los pastos que consumía el ganado.

La suplementación mineral oral tampoco afectó las medidas de CT, AG, AC, LL, LC y ANI, lo cual coincide con Esser *et al.* (2009), quien al proveer dosis extra de P a novillas lecheras no logró mejorar medidas como AG, AC, ANC o CT; entre otras. Sin embargo, la existencia de efecto sobre el ANC podría indicar que los animales suplementados presentaron un desarrollo óseo más rápido en el área pélvica que los animales no suplementados. Se ha planteado que al aumentar esta medida se reducen las posibilidades de partos distócicos (Kolkman *et al.* 2010, Wójcik y Kruk 2010) por cuanto dicha medida se encuentra positivamente asociada a medidas internas como el ancho y el alto de la pelvis (Looper *et al.* 2002). Dado que en las novillas de reemplazo se busca seleccionar por mayor área pélvica, con el fin de evitar problemas de distocia (Looper *et al.* 2002), pero, a su vez, disminuir las edades a primer parto, es beneficioso que los animales suplementados alcancen mayores medidas de ANC a menor edad.

Con respecto al índice pelviano transversal, a los 126 días del experimento (aproximadamente 14 meses de edad) los individuos del grupo CON<sub>6</sub> ya presentaban una IPT promedio mayor de 33, valor deseable según Parés-Casanova (2009) que favorece la facilidad de parto (Bravo y Sepúlveda 2010) y la deposición de músculo en los cuartos traseros (Contreras *et al.* 2012) desde temprana edad. Comparando con datos de otros estudios, los valores promedio alcanzados aproximadamente a 18 meses de edad (35,24 para el grupo SAL y 35,76 para el grupo CON<sub>6</sub>, Figura 9B) son mayores que el de 32,44 encontrado en vacas adultas de la raza criollo de Casanare,

en Venezuela (Salamanca y Crosby 2013), similares a los 35,5 encontrados por Araújo *et al.* (2006) en ganado Minhota (raza local del norte de Portugal) de menos de 3 años de edad y menores que lo informado por Rojas *et al.* (2014) en hembras adultas de la raza Blanco Orejinegro (55,18), lo cual refuerza la idea de que los valores observados en este estudio son buenos para animales tan jóvenes.

Sin embargo, al considerar la temprana edad a la que se dieron dichas diferencias en ANC e IPT (12 a 14 meses de edad) y que más tarde estas diferencias se perdieron, cabe preguntarse si son realmente beneficiosas, pues a esta edad ni siquiera se piensa en inseminar a los animales. Mientras que a los 24 meses, la edad esperada del primer parto, las diferencias observadas ya se habían reducido (Figura 9B).

Aunque el presente estudio no halló efecto del uso de un SMO en la ganancia de peso ni se observaron signos de deficiencias de minerales, esto no debe ser usado como base para afirmar que el uso de un SMO es innecesario en condiciones costarricenses. Mc Dowell y Arthington (2005) muestran que pastos costarricenses se ha detectado deficiencias de Ca, Mg, P, Co, Cu, I, Fe, Mn, Se y Zn. Por otro lado, la evidencia que apoya el uso de suplementos minerales es amplia (Mc Dowell y Arthington 2005, Suttle 2010) y en ocasiones, los síntomas de deficiencias en algunos micronutrientes no son evidentes (López-Alonso 2012). Así, es mejor proveer cantidades adecuadas de todos los minerales esenciales a fin de maximizar la salud y la productividad de los animales, lo cual es una práctica por lo general costoefectiva (López-Alonso 2012).

No se encontró efecto del uso ninguno de los dos suplementos inyectables en la ganancia de peso. Similares resultados hallaron Mora *et al.* (2010a,b) al suplementar Cu y Zn en animales en pastos con niveles adecuados de estos minerales y que además recibían un multimineral oral. De igual forma, Kegley *et al.* (2012) no reportan mejoría en la ganancia de peso de novillos en confinamiento, que consumían dietas a base de grano, por el uso de un inyectable fuente de Zn, Cu, Mn y Se. 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.

Parece ser, que salvo en casos de deficiencias muy marcadas y en ciertas condiciones experimentales, los efectos de suplementos parenterales en el peso son reducidos. Autores como Esser *et al.* (2009), Chourfi *et al.* (2011), Félix *et al.* (2012), Pogge *et al.* (2012), Moriel y Arthington (2013), Arthington *et al.* (2014) y Genther y Hansen (2014) han encontrado beneficios del uso de suplementos minerales (tanto orales como inyectables) en la respuesta inmunológica, la respuesta antioxidante, la disminución de las mermas de peso por transporte o manejos estresantes 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. Todo apunta a que los beneficios del uso de suplementos minerales podrían no estar representados en la báscula (salvo en el caso de reducción de las mermas) sino en variables fisiológicas y bioquímicas que deben ser evaluadas en su aporte económico al productor.

El grupo que recibió un suplemento inyectable a base de butafosfán y vitamina B12 (CAT) mostró valores de AC numéricamente superiores que los grupos CON y CLF (2,02 y 1,07 cm,  $p > 0,05$  en ambos casos). Sin embargo, el LC del grupo CAT se mostró 1,96 y 2,34 cm inferior que los de los grupos CON y CLF, respectivamente ( $p > 0,05$ ). Dichas diferencias no significativas en ambas variables, dieron origen a una modificación en el IP, que fue significativamente superior en las novillas del tratamiento CAT. Por lo anterior, se puede decir que los animales suplementados con CAT presentaron una conformación menos apropiada para la producción cárnica (Parés-Casanova 2009).

Los valores de IP encontrados en todos los grupos fueron de más de 100, lo cual indica que la AC es mayor que el LC. Dichos valores son mayores que en diferentes razas de origen europeo como Criollo Patagónico (76,23) (Fernández *et al.* 2007), Minhota (79,0) (Araújo *et al.* 2006), Pirenáico (85,3), Holstein (84,9) o Hereford (78,2) (Parés-Casanova 2009). Esto podría ser debido a diferencias morfológicas entre los animales *Bos indicus* y *Bos taurus*, pues Giorgetti *et al.* (1994), hallaron que animales Nelore y Girolando presentaban índices de proporcionalidad

de 112 y 96 al año de edad, respectivamente. Asimismo De Paula *et al.* (2013), al analizar animales con al menos 50% de raza Nelore, encontraron IP de 137 a 144 a edades entre 249 y 570 días.

Es difícil explicar las diferencias observadas en el IP del grupo CAT con respecto al grupo CON. Lo anterior porque aún el mecanismo de acción del Catosal<sup>®</sup> no está del todo esclarecido (Kreipe *et al.* 2011), aunque parece jugar un papel en el proceso de aprovechamiento energético. Hansel *et al.* (1992) indican que la aplicación de butafosfán a novillas lecheras, previo a un desafío de carga metabólica (infusión de 9 mmol/kg<sup>0.75</sup> de propionato en solución acuosa) aumenta los niveles de insulina y reduce los de cortisol, en comparación con un placebo, lo cual indica una reducción en la gluconeogénesis y una mayor utilización de la glucosa en tejidos periféricos. Por su parte, Kreipe *et al.* (2011) hallaron que, en vacas sanas, el uso de Catosal<sup>®</sup> aumenta la expresión del gen ACSL1, relacionado con la oxidación de ácidos grasos en el hígado. Esto coincide con Füll *et al.* (2010) quienes aseguran que este producto mejora la disponibilidad de la glucosa y disminuye la movilización de ácidos grasos y la formación de cuerpos cetónicos en vacas lecheras post-parto. Asimismo, la cianocobalamina se transforma en cobalamina y actúa como cofactor de la enzima Metil-Malonil Coenzima A Mutasa que participa en la transformación del propionato en succinato y su integración al ciclo de Krebs (Suttle 2010). Asimismo, la cianocobalamina participa en la síntesis de ácido fólico y metionina (Otrocka-Domagala *et al.* 2009). Sin embargo, no es claro como esto podría estar relacionado con los cambios morfológicos observados.

Ni el AOL ni la PGD mostraron ser afectadas por el uso de suplementos minerales, sean estos orales o inyectables. Esto concuerda con los resultados de Félix *et al.* (2012), que evaluaron suplementos orales de minerales traza, y Genter y Hansen (2012), que usaron un inyectable a base de Zn, Cu, Mn y Se. Tal parece que los minerales traza no participan activamente en el desarrollo muscular y la deposición de grasa subcutánea. Sin embargo, debe considerarse que no se pudo completar el seguimiento ultrasonográfico de estas variables, por lo cual se puede creer que las diferencias fueran observables hacia la etapa final del experimento. Debe recordarse que una de las soluciones evaluadas (Catosal<sup>®</sup>) mostró beneficios

para la recuperación del músculo *Longissimus lumborum* en cerdos sometidos a un tratamiento que provocaba necrosis muscular (Otrocka-Domagala *et al.* 2009) y que, en caso de beneficiar a animales saludables, se esperaría un mayor desarrollo muscular.

Tampoco se encontró efecto de la suplementación mineral, sea esta oral o parenteral, el IA o el IC. Los promedios generales ( $\pm$  desviación estándar) del IA aumentaron desde  $1,94 \pm 0,13$  al inicio del experimento (con una edad aproximada de 10 meses y unos 250 kg de PV) hasta  $2,54 \pm 0,17$  al final del mismo ( $\approx 18$  meses de edad y 410 kg de PV). Mota *et al.* (2013) estudiaron este índice en bovinos Nelore jóvenes y encontraron valores de 1,67 cuando pesaban menos de 300 kg y 2,00 cuando pesaban más de 361 kg. Por otro lado, en vacas adultas de razas criollas latinoamericanas se informan valores de  $2,45 \pm 0,19$  (Contreras *et al.* 2011),  $2,31 \pm 0,27$  y  $2,68 \pm 0,17$  (Fernández *et al.* 2007). Estos valores permiten identificar que las novillas en el presente estudio alcanzaron valores buenos de IA para su edad y peso, en comparación con otros estudios. Sin embargo, se puede esperar que las novillas del presente estudio lleguen a valores mayores, de mantenerse la tendencia creciente observada en las Figuras 13A y 18A.

El promedio general del IC alcanzó un valor de  $266,3 \pm 22,6$  a una edad aproximada de 18 meses, que se encuentra en el rango descrito por Madalena *et al.* (2003) para novillas Guzarat  $\times$  Holstein de dos años de edad (2,4-2,9; dependiendo de la proporción de sangre Holstein), lo que indica que el IC encontrado es aceptable para animales cruzados *Bos taurus*  $\times$  *Bos indicus*.

Con el fin de dar una mejor explicación de los comportamientos observados se realizó una estimación de los consumos de minerales, proteína cruda y energía metabolizable por parte de las novillas del experimento a fin de determinar posibles causas de los comportamientos observados, usando las tablas brasileñas (Valadares Filho *et al.* 2010). Para ello se tomaron los valores nutricionales de cada materia alimenticia, indicados en el Cuadro 8, y se multiplicaron por las cantidades suministradas a los animales (previo descuento de los rechazos) a partir de las observaciones del personal de la finca. Con esto se obtuvo el aporte de alimento y se sumó para obtener el aporte total de la dieta (Cuadro 14).

Los valores de aporte de macrominerales de la dieta base se multiplicaron por coeficientes de absorción apropiados (Cuadro 15) y se les sumó el aporte de macrominerales del SMO. Para ello, se supuso cuatro posibles niveles de consumo de SMO (60, 80, 100 y 120 g/día) y se asumió un consumo de 80 g de sal blanca por día en el grupo de referencia. Estos valores fueron multiplicados por los coeficientes de absorción indicados por el NRC (2001) para las fuentes minerales indicadas en la etiqueta del Pecutrín® Vitaminado (Cuadro 15) y se sumaron a los totales aportados por la dieta base.

Los totales absorbidos fueron comparados con el requerimiento neto de mantenimiento ( $RN_M$ ) para un animal de 250 kg (peso representativo de la fase 1) y 400 kg (peso representativo de la fase 2). Los excedentes reflejan la cantidad de un elemento que podría usarse para la ganancia de peso vivo, por lo cual fueron comparadas con el requerimiento neto para ganancia ( $RN_G$ ) de 0,5 y 1 kg de peso vivo por día (Cuadros 16 y 17).

Se determinó que los animales en el grupo SAL presentaron niveles subóptimos de calcio en la dieta, tanto en la Fase 1 como en la Fase 2, que permitirían una ganancia esperada de 140-160 g/día. No es claro el porqué de las diferencias entre el crecimiento esperado y el observado ( $625,6 \pm 36,6$  g/día). Aunque no se analizó el agua de bebida, es poco probable que, al menos en el caso del calcio, las respuestas observadas se deban a aportes realizados por esta, pues el agua del Cantón de Pococí es blanda, con menos de 60 mg de  $CaCO_3/L$  (Mora et al. 2000).

Costa e Silva *et al.* (2015) tampoco 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. Sin embargo, el estudio citado difiere en que los niveles de P suplementado se redujeron en el grupo de bajo Ca. Esto podría indicar que el sistema de cálculo de requerimientos sugerido por Valadares Filho *et al.* (2010), aunque similar a otros (NRC 1996, ARC 1980), carece de suficiente precisión para pronosticar de manera adecuada la GDP en ciertas condiciones de campo.

Cuadro 14. Consumo estimado de componentes de la dieta base y total de la dieta en términos de materia fresca (MF), materia seca (MS), proteína cruda (PC), energía metabolizable (EM), cenizas y minerales durante las dos fases del desarrollo de las novillas.

| Consumo     | Fase 1 |       |       |       |        | Fase 2 |       |       |       |        |
|-------------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|
|             | CBM    | KG    | BV    | AB-1  | Total  | CBM    | KG    | BV    | AB-2  | Total  |
| MF (kg)     | 15,0   | 5,0   | 10,0  | 1,5   | 31,5   | 20,0   | 7,0   | 20,0  | 2,0   | 49,0   |
| MS (kg)     | 2,1    | 0,6   | 1,8   | 1,3   | 5,7    | 2,8    | 0,8   | 3,6   | 1,8   | 8,9    |
| Cenizas (g) | 227,3  | 76,0  | 112,1 | 78,9  | 494,3  | 303,0  | 106,4 | 224,2 | 70,5  | 704,2  |
| PC (g)      | 169,5  | 40,3  | 90,8  | 211,0 | 511,6  | 226,0  | 56,4  | 181,6 | 247,7 | 711,7  |
| EM (Mcal)   | 4,0    | 0,9   | 4,5   | 3,9   | 13,3   | 5,3    | 1,3   | 9,0   | 5,5   | 21,1   |
| Ca (g)      | 5,6    | 1,1   | 1,1   | 2,0   | 9,9    | 7,5    | 1,6   | 2,1   | 2,9   | 14,1   |
| P (g)       | 3,7    | 1,5   | 2,0   | 12,2  | 19,3   | 5,0    | 2,0   | 3,9   | 12,0  | 23,0   |
| Na (g)      | 0,5    | 0,1   | 0,1   | 1,1   | 1,8    | 0,6    | 0,1   | 0,2   | 1,0   | 2,0    |
| K (g)       | 91,2   | 27,5  | 43,0  | 24,2  | 185,9  | 121,6  | 38,5  | 86,0  | 17,3  | 263,4  |
| Mg (g)      | 2,9    | 0,8   | 2,1   | 5,7   | 11,6   | 3,9    | 1,2   | 4,3   | 5,5   | 14,9   |
| Zn (mg)     | 33,2   | 14,4  | 19,3  | 83,7  | 150,6  | 44,2   | 20,2  | 38,6  | 81,9  | 185,0  |
| Mn (mg)     | 114,3  | 57,6  | 28,8  | 109,5 | 310,3  | 152,5  | 80,6  | 57,6  | 117,3 | 408,0  |
| Fe (mg)     | 639,7  | 113,6 | 355,3 | 267,7 | 1376,2 | 852,9  | 159,0 | 710,6 | 209,3 | 1931,8 |
| Cu (mg)     | 18,2   | 4,3   | 8,8   | 17,5  | 48,9   | 24,3   | 6,0   | 17,6  | 22,7  | 70,6   |
| I (mg)      | 72,5   | 11,9  | 106,7 | 0,0   | 191,1  | 96,7   | 16,6  | 213,5 | 0,0   | 326,8  |
| Co (mg)     | 0,0    | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0    | 0,0    | 0,0   | 0,0   | 0,0   | 0,0    |
| Mo (mg)     | 0,0    | 0,0   | 8,1   | 1,7   | 9,8    | 0,0    | 0,0   | 16,2  | 1,3   | 17,5   |
| Se (mg)     | 0,0    | 0,0   | 0,0   | 0,4   | 0,4    | 0,0    | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,2    |

Cuadro 15. Coeficientes de absorción asumidos en la simulación.

| Elemento   | Dieta Base                           | SMO                      |
|------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Calcio     | 0,55                                 | 0,94 (Fosfato dicálcico) |
| Fósforo    | 0,68                                 | 0,75 (Fosfato dicálcico) |
| Sodio      | 0,91                                 | 0,90 (Cloruro de sodio)  |
| Potasio    | 1,00                                 | -                        |
| Magnesio   | 0,16                                 | 0,70 (Óxido de magnesio) |
| Referencia | Valadares Filho <i>et al.</i> (2010) | NRC (2001)               |

Cuadro 16. Aportes y cantidades absorbidas de macrominerales, en comparación con los requerimientos para mantenimiento (RN<sub>M</sub>) y ganancia de peso (RN<sub>G</sub>), a partir de diferentes consumos asumidos de suplementos minerales orales, para una hembra cruzada *Bos taurus* × *Bos indicus* de 250 kg de peso vivo.

| Elemento | Suplemento Consumido | Aportes (g) |            | Cantidad            |                             | RN <sub>M</sub> Excedente para Ganancia (g) | RN <sub>G</sub> (g) |          |
|----------|----------------------|-------------|------------|---------------------|-----------------------------|---|---------------------|----------|
|          |                      | Suplemento  | Dieta base | Total absorbida (g) | Excedente para Ganancia (g) |   | 0,5 kg/día          | 1 kg/día |
| Calcio   | 80 g NaCl            | -           | 9,9        | 5,4                 | 1,5                         |   |                     |          |
|          | 60 g SMO             | 6,9         | 16,8       | 11,9                | 8,0                         |   |                     |          |
|          | 80 g SMO             | 9,2         | 9,9        | 14,1                | 3,9                         | 10,2  | 5,5                 | 11,0     |
|          | 100 g SMO            | 11,5        |            | 16,3                |                             | 12,4  |                     |          |
|          | 120 g SMO            | 13,8        |            | 18,4                |                             | 14,5  |                     |          |
| Fósforo  | 80 g NaCl            | -           | 19,4       | 13,2                | 8,8                         |   |                     |          |
|          | 60 g SMO             | 5,4         | 24,8       | 17,2                | 12,8                        |   |                     |          |
|          | 80 g SMO             | 7,2         | 19,4       | 18,6                | 4,4                         | 14,2  | 3,1                 | 6,1      |
|          | 100 g SMO            | 9,0         |            | 19,9                |                             | 15,5  |                     |          |
|          | 120 g SMO            | 10,8        |            | 21,3                |                             | 16,9  |                     |          |
| Sodio    | 80 g NaCl            | 32,0        | 33,8       | 30,8                | 29,3                        |   |                     |          |
|          | 60 g SMO             | 12,0        | 13,8       | 12,6                | 11,1                        |   |                     |          |
|          | 80 g SMO             | 16,0        | 1,8        | 16,2                | 1,5                         | 14,7  | 0,6                 | 1,2      |
|          | 100 g SMO            | 20,0        |            | 19,9                |                             | 18,4  |                     |          |
|          | 120 g SMO            | 24,0        |            | 23,5                |                             | 22,0  |                     |          |
| Potasio  | 80 g NaCl            | -           | 185,9      | 185,9               | 158,7                       |   |                     |          |
|          | 60 g SMO             | -           | 185,9      | 185,9               | 158,7                       |   |                     |          |
|          | 80 g SMO             | -           | 185,9      | 185,9               | 27,3                        | 158,7                                       | 1,1                 | 2,1      |
|          | 100 g SMO            | -           | 185,9      | 185,9               | 158,7                       |   |                     |          |
|          | 120 g SMO            | -           | 185,9      | 185,9               | 158,7                       |   |                     |          |
| Magnesio | 80 g NaCl            | -           | 11,6       | 1,86                | 1,16                        |   |                     |          |
|          | 60 g SMO             | 0,9         | 12,5       | 2,63                | 1,93                        |   |                     |          |
|          | 80 g SMO             | 1,2         | 11,6       | 2,89                | 0,7                         | 2,19  | 0,16                | 0,32     |
|          | 100 g SMO            | 1,5         | 13,1       | 3,15                | 2,45                        |   |                     |          |
|          | 120 g SMO            | 1,8         | 13,4       | 3,4                 | 2,7                         |   |                     |          |

Cuadro 17. Aportes y cantidades absorbidas de macrominerales, en comparación con los requerimientos para mantenimiento (RN<sub>M</sub>) y ganancia de peso (RN<sub>G</sub>), a partir de diferentes consumos asumidos de suplementos minerales orales, para una hembra cruzada *Bos taurus* x *Bos indicus* de 400 kg de peso vivo.

| Elemento | Suplemento |            | Aportes (g) |      | Total | Cantidad      |              | RN <sub>M</sub><br>(g) | Excedente para |          | RN <sub>G</sub> (g) |
|----------|------------|------------|-------------|------|-------|---------------|--------------|------------------------|----------------|----------|---------------------|
|          | Consumido  | Suplemento | Dieta       | base |       | absorbida (g) | Ganancia (g) |                        | 0,5 kg/d       | 1,0 kg/d |                     |
| Calcio   | 80 g NaCl  | -          |             |      | 14,1  | 7,8           |              |                        | 1,6            |          |                     |
|          | 60 g SMO   | 6,9        |             |      | 21    | 14,2          |              |                        | 8              |          |                     |
|          | 80 g SMO   | 9,2        | 14,1        |      | 23,3  | 16,4          | 6,2          |                        | 10,2           | 4,8      | 9,7                 |
|          | 100 g SMO  | 11,5       |             |      | 25,6  | 18,6          |              |                        | 12,4           |          |                     |
|          | 120 g SMO  | 13,8       |             |      | 27,9  | 20,7          |              |                        | 14,5           |          |                     |
| Fósforo  | 80 g NaCl  | -          |             |      | 23,0  | 15,6          |              |                        | 8,6            |          |                     |
|          | 60 g SMO   | 5,4        |             |      | 28,4  | 19,7          |              |                        | 12,7           |          |                     |
|          | 80 g SMO   | 7,2        | 23,0        |      | 30,2  | 21            | 7,0          |                        | 14             | 2,7      | 5,3                 |
|          | 100 g SMO  | 9,0        |             |      | 32    | 22,4          |              |                        | 15,4           |          |                     |
|          | 120 g SMO  | 10,8       |             |      | 33,8  | 23,7          |              |                        | 16,7           |          |                     |
| Sodio    | 80 g NaCl  | 32,0       |             |      | 34,0  | 30,6          |              |                        | 28,2           |          |                     |
|          | 60 g SMO   | 12,0       |             |      | 14,0  | 12,6          |              |                        | 10,2           |          |                     |
|          | 80 g SMO   | 16,0       | 2,0         |      | 18,0  | 16,2          | 2,4          |                        | 13,8           | 0,6      | 1,2                 |
|          | 100 g SMO  | 20,0       |             |      | 22,0  | 19,8          |              |                        | 17,4           |          |                     |
|          | 120 g SMO  | 24,0       |             |      | 26,0  | 23,4          |              |                        | 21             |          |                     |
| Potasio  | 80 g NaCl  | -          |             |      | 263,4 | 263,4         |              |                        | 220,9          |          |                     |
|          | 60 g SMO   | -          |             |      | 263,4 | 263,4         |              |                        | 220,9          |          |                     |
|          | 80 g SMO   | -          | 263,4       |      | 263,4 | 263,4         | 42,5         |                        | 220,9          | 1,3      | 2,5                 |
|          | 100 g SMO  | -          |             |      | 263,4 | 263,4         |              |                        | 220,9          |          |                     |
|          | 120 g SMO  | -          |             |      | 263,4 | 263,4         |              |                        | 220,9          |          |                     |
| Magnesio | 80 g NaCl  | -          |             |      | 14,9  | 2,38          |              |                        | 1,28           |          |                     |
|          | 60 g SMO   | 0,9        |             |      | 15,8  | 3,01          |              |                        | 1,91           |          |                     |
|          | 80 g SMO   | 1,2        | 14,9        |      | 16,1  | 3,22          | 1,1          |                        | 2,12           | 0,16     | 0,32                |
|          | 100 g SMO  | 1,5        |             |      | 16,4  | 3,43          |              |                        | 2,33           |          |                     |
|          | 120 g SMO  | 1,8        |             |      | 16,7  | 3,64          |              |                        | 2,54           |          |                     |

Valadares Filho *et al.* (2010) recomiendan usar un  $C_A$  para el calcio de 0,55, similar a lo recomendado por el ARC (1980), NRC (1996) y NRC (2001) (0,68; 0,5 y 0,6; respectivamente). Sin embargo, Valadares Filho *et al.* (2010) también recopilan diferentes coeficientes de absorción del Ca indicados en la literatura, tanto en países tropicales como en países templados, con énfasis en trabajos brasileños. El rango de los  $C_A$  va desde 0,3 a 0,91; con una mediana de 0,6 y un rango intercuartil de 0,5 a 0,72. Lo anterior permite suponer que los valores absorbidos por los animales del grupo SAL pudieron ser mayores que los indicados en el Cuadro 16. Por ejemplo, si se usara un valor de 0,91 se absorberían 9,0 g/día en la Fase 1 y 12,8 g/día en la Fase 2, lo que permitiría crecimientos esperados de 464 y 684 g/día, similares a lo observado en el presente trabajo.

Los datos mostrados en los Cuadros 16 y 17 indican que es necesario hacer coincidir la composición de los suplementos minerales con las dietas suministradas, pues en algunos elementos las cantidades provistas son excesivas. De particular interés es que el P haya sido suministrado a más del doble del requerimiento para una ganancia de 1 kg/día y con niveles de Ca que no cubren ni siquiera esa tasa de crecimiento. Esto incrementa la excreción del elemento y por ende, el riesgo de la lixiviación del P a cuerpos de agua (Block *et al.* 2004), lo cual puede originar consecuencias severas como la eutrofización (florecimientos algales masivos que afectan el equilibrio de los ecosistemas acuáticos).

Además, si se considera que para los requerimientos de P establecidos por Valadares Filho *et al.* (2010) presentan algunas de las deficiencias que fueron señaladas a los del NRC (1996) por Block *et al.* (2004); tales como el uso de un coeficiente de absorción fijo de 0,68 y el no tomar en cuenta la secreción de P en la saliva, el efecto sobre el ambiente y la economía del productor podría ser aún mayor.

Los Cuadros 18 y 19 comparan el requerimiento y el aporte de microminerales. En este caso no es necesario considerar factores de absorción pues los requerimientos establecidos por el NRC (1996) vienen indicados como concentraciones dietéticas recomendadas.

Cuadro 18. Cantidad de microminerales aportada por la dieta y la suplementación mineral, a partir de diferentes niveles de consumo de suplementos minerales, en comparación con el requerimiento para animales de 250 kg de peso vivo, con un consumo de 5,7 kg de materia seca por día.

| Elemento | Suplemento consumido | Aportes (mg) |            |       | Recomendación (mg) |
|----------|----------------------|--------------|------------|-------|--------------------|
|          |                      | Suplemento   | Dieta Base | Total |                    |
| Zn       | 80 g NaCl            | 0            |            | 151   | 171                |
|          | 60 g SMO             | 240          |            | 391   |                    |
|          | 80 g SMO             | 320          | 151        | 471   |                    |
|          | 100 g SMO            | 400          |            | 551   |                    |
|          | 120 g SMO            | 480          |            | 631   |                    |
| Mn       | 80 g NaCl            | 0            |            | 310   | 114                |
|          | 60 g SMO             | 60           |            | 370   |                    |
|          | 80 g SMO             | 80           | 310        | 390   |                    |
|          | 100 g SMO            | 100          |            | 410   |                    |
|          | 120 g SMO            | 120          |            | 430   |                    |
| Fe       | 80 g NaCl            | 0            |            | 1376  | 285                |
|          | 60 g SMO             | 15           |            | 1391  |                    |
|          | 80 g SMO             | 20           | 1376       | 1396  |                    |
|          | 100 g SMO            | 25           |            | 1401  |                    |
|          | 120 g SMO            | 30           |            | 1406  |                    |
| Cu       | 80 g NaCl            | 0            |            | 49    | 57                 |
|          | 60 g SMO             | 60           |            | 109   |                    |
|          | 80 g SMO             | 80           | 49         | 129   |                    |
|          | 100 g SMO            | 100          |            | 149   |                    |
|          | 120 g SMO            | 120          |            | 169   |                    |
| I        | 80 g NaCl            | 0            |            | 191   | 3                  |
|          | 60 g SMO             | 4,5          |            | 196   |                    |
|          | 80 g SMO             | 6,0          | 191        | 197   |                    |
|          | 100 g SMO            | 7,5          |            | 199   |                    |
|          | 120 g SMO            | 9,0          |            | 200   |                    |
| Se       | 80 g NaCl            | 0            |            | 0,4   | 0,6                |
|          | 60 g SMO             | 1,9          |            | 2,3   |                    |
|          | 80 g SMO             | 2,6          | 0,4        | 2,9   |                    |
|          | 100 g SMO            | 3,2          |            | 3,6   |                    |
|          | 120 g SMO            | 3,8          |            | 4,2   |                    |

Cuadro 19. Cantidad de microminerales aportada por la dieta y la suplementación mineral, a partir diferentes niveles de consumo de suplementos minerales, en comparación con el requerimiento para animales de 400 kg de peso vivo, con un consumo de 8,9 kg de materia seca por día.

| Elemento | Suplemento consumido | Aportes (mg) |            |       | Recomendación (mg) |
|----------|----------------------|--------------|------------|-------|--------------------|
|          |                      | Suplemento   | Dieta Base | Total |                    |
| Zn       | 80 g NaCl            | 0            |            | 185   | 267                |
|          | 60 g SMO             | 240          |            | 425   |                    |
|          | 80 g SMO             | 320          | 185        | 505   |                    |
|          | 100 g SMO            | 400          |            | 585   |                    |
|          | 120 g SMO            | 480          |            | 665   |                    |
| Mn       | 80 g NaCl            | 0            |            | 408   | 178                |
|          | 60 g SMO             | 60           |            | 468   |                    |
|          | 80 g SMO             | 80           | 408        | 488   |                    |
|          | 100 g SMO            | 100          |            | 508   |                    |
|          | 120 g SMO            | 120          |            | 528   |                    |
| Fe       | 80 g NaCl            | 0            |            | 1932  | 445                |
|          | 60 g SMO             | 15           |            | 1947  |                    |
|          | 80 g SMO             | 20           | 1932       | 1952  |                    |
|          | 100 g SMO            | 25           |            | 1957  |                    |
|          | 120 g SMO            | 30           |            | 1962  |                    |
| Cu       | 80 g NaCl            | 0            |            | 71    | 89                 |
|          | 60 g SMO             | 60           |            | 131   |                    |
|          | 80 g SMO             | 80           | 71         | 151   |                    |
|          | 100 g SMO            | 100          |            | 171   |                    |
|          | 120 g SMO            | 120          |            | 191   |                    |
| I        | 80 g NaCl            | 0            |            | 327   | 4                  |
|          | 60 g SMO             | 4,5          |            | 331   |                    |
|          | 80 g SMO             | 6,0          | 327        | 333   |                    |
|          | 100 g SMO            | 7,5          |            | 334   |                    |
|          | 120 g SMO            | 9,0          |            | 336   |                    |
| Se       | 80 g NaCl            | 0,0          |            | 0,2   | 0,9                |
|          | 60 g SMO             | 1,9          |            | 2,1   |                    |
|          | 80 g SMO             | 2,6          | 0,2        | 2,8   |                    |
|          | 100 g SMO            | 3,2          |            | 3,4   |                    |
|          | 120 g SMO            | 3,8          |            | 4,0   |                    |

Se encontraron deficiencias en los aportes de zinc para el grupo SAL (88 y 69% del requerimiento para la fase 1 y fase 2, respectivamente). Sin embargo, Suttle (2010) plantea, a partir de estudios recientes que estiman los componentes factoriales del requerimiento de este mineral, que salvo para animales en lactancia, un nivel de 18 mg/kg de MS sería suficiente para llenar los requerimientos de una animal en crecimiento. Al considerar los consumos de MS estimados en la fase 1 (5,7 kg/día) y la fase 2 (8,9 kg/día) el requerimiento total sería de 103 mg/día en la fase 1 y 160 mg/día en la fase 2, con lo cual quedan cubiertos ambos requerimientos con los aportes de la dieta basal.

También el cobre presentó niveles deficientes en la dieta de las novillas que consumían sal (85% del requerimiento en la fase 1 y 79% en la fase 2). En este caso, al considerar los altos niveles de Mo en la dieta (cercanos a 2 mg/kg de MS) el requerimiento de las novillas podría ser hasta de 100 mg/día en la fase 1 y 140 mg/día en la fase 2 (Suttle 2010) por lo cual la deficiencia es aún mayor y se debe compensar con un consumo de SMO de 60 g/día en la fase 1 y 80 g/día en la fase 2.

El selenio presentó deficiencias en la dieta base, ya que los aportes no cubrían siquiera las estimaciones más bajas del requerimiento (0,05 mg/kg de MS, ARC 1980). Sin embargo, al proveer un suplemento mineral a libre consumo, se eliminó tal problema.

No se encontraron niveles detectables de Co en las materias analizadas, y los datos de literatura normalmente no mencionan las concentraciones de este mineral. Sin embargo, dado que no se observaron limitaciones en la fermentación ruminal, provocadas por la acumulación de succinato debida a deficiencias de cobalto (Suttle 2010), se puede suponer un nivel que por lo menos logra llegar a concentraciones marginales de Co en la dieta total (0,03-0,06 mg/kg, Suttle 2010).

El aporte de minerales de los suplementos parenterales, se calculó como el producto de la concentración de cada elemento en las soluciones (Cuadro 9) por los mililitros de solución que se debieron inyectar para animales de 250 y 400 kg de peso vivo. Estos valores se dividieron entre 30 días, a partir del supuesto de que las soluciones pudieran distribuirse a lo largo del período entre inyecciones (Cuadro 20).

Cuadro 20. Aporte de minerales, al momento de la aplicación y distribuidos en 30 días, por parte de los suplementos parenterales evaluados, para novillas de 250 y 400 kg de peso vivo.

|                        |         | Peso vivo de la novilla (kg) |                  |                 |                  |
|------------------------|---------|------------------------------|------------------|-----------------|------------------|
|                        |         | 250                          |                  | 400             |                  |
|                        |         | A la aplicación              | Distribuido 30 d | A la aplicación | Distribuido 30 d |
| Dosis (ml)             |         | 12,5                         | -                | 20              | -                |
| Catosal <sup>®</sup>   | P (g)   | 0,22                         | 0,007            | 0,35            | 0,012            |
|                        | Co (µg) | 27,50                        | 0,92             | 44,00           | 1,47             |
| Calfosvit <sup>®</sup> | P (g)   | 0,28                         | 0,009            | 0,44            | 0,015            |
|                        | Zn (mg) | 37,50                        | 1,25             | 60,00           | 2,00             |
|                        | I (mg)  | 187,50                       | 6,25             | 300,00          | 10,00            |
|                        | Se (mg) | 1,25                         | 0,04             | 2,00            | 0,07             |

El Cuadro 20 permite verificar que una aplicación de Catosal<sup>®</sup> aporta 1,4% y 2,1% del requerimiento diario de fósforo (mantenimiento + ganancia de 1 kg de PV) para animales de 250 y 400 kg, respectivamente; así como casi un 5% del requerimiento de Co de animales a ambos pesos. Pero, al considerar que esta inyección es mensual, y si se supone que la liberación de los componentes es homogénea durante el período entre inyecciones (una suposición poco realista), los aportes son de apenas 0,05-0,07% del requerimiento de fósforo y 0,16% del requerimiento de Co. Al efectuar un cálculo similar, el Calfosvit<sup>®</sup> provee 0,06-0,09% del requerimiento de P, 0,75% del de Zn, 7% del de Se y más de 200% del requerimiento de I, si se distribuyera su aporte a lo largo de 30 días.

El Cuadro 21 muestra los aportes realizados por la dieta en términos de Energía Metabolizable y Proteína Cruda, en comparación con los requerimientos indicados por Valadares Filho *et al.* (2010). Nótese que los aportes de EM son iguales a los indicados en el Cuadro 14, pero a los de PC se les sumó 287,5 y 316,3 g de PC correspondientes a 100 y 110 g de urea, provistos, respectivamente, en las Fases 1 y 2 (Cuadro 6). Las provisiones de PC permitieron tasas de crecimiento de 1 kg/día en la Fase 1 y aproximadamente 982 g/día en la Fase 2. Por su parte, la EM permite esperar un crecimiento de 725 g/día durante la Fase 1 y 1 kg/día en la Fase 2.

Cuadro 21. Aportes y requerimientos de Proteína Cruda (PC) y Energía Metabolizable (EM) provistos mediante la dieta empleada.

| Nutriente | Fase 1 (250 kg) |                            |          | Fase 2 (400 kg) |                            |          |
|-----------|-----------------|----------------------------|----------|-----------------|----------------------------|----------|
|           | Aporte          | Requerimiento <sup>1</sup> |          | Aporte          | Requerimiento <sup>1</sup> |          |
|           |                 | 0,5 kg/día                 | 1 kg/día |                 | 0,5 kg/día                 | 1 kg/día |
| PC (g)    | 799,1           | 594,5                      | 798,8    | 1028,0          | 795,1                      | 1036,3   |
| EM (Mcal) | 13,3            | 11,4                       | 15,8     | 21,1            | 15,4                       | 21,1     |

<sup>1</sup>A partir de Valadares Filho *et al.* (2010)

Basándose en las recomendaciones de Valadares Filho *et al.* (2010), las novillas del grupo SAL presentaron durante la Fase 1 deficiencias nutricionales en el siguiente orden de prioridad Co > Ca > Zn > Cu > Se > EM, a fin de tener un crecimiento de 1 kg diario (Figura 20A). Por su parte, en la Fase 2 se presentó el siguiente orden de deficiencias: Co > Se > Ca > Zn > Cu > PC (Figura 20B). Pero, según indica Suttle (2010), se podría obviar la deficiencia de Zn, pues el requerimiento del NRC (1996) estaría sobreestimado y darle una mayor importancia a la de Cu, debido a los altos niveles de Mo en la dieta.

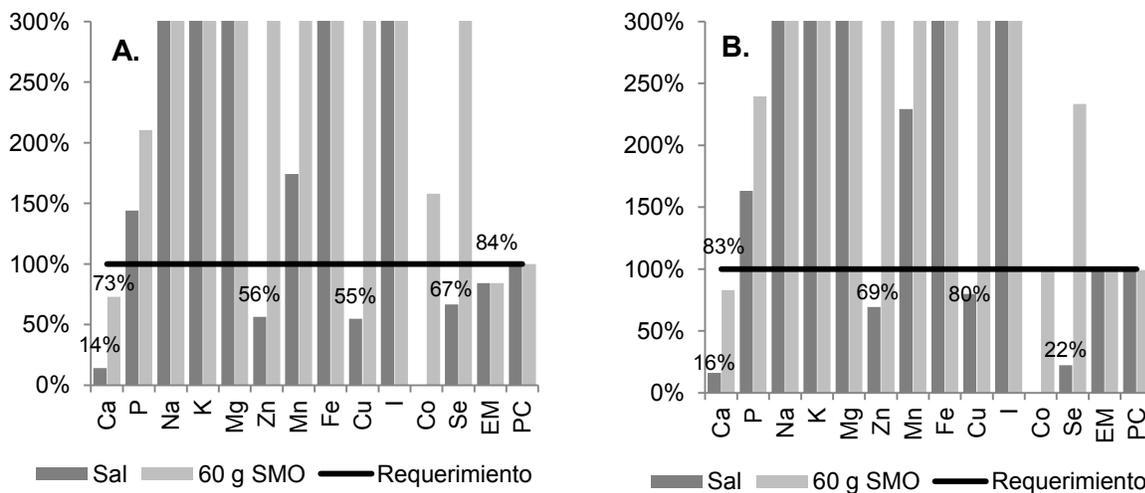


Figura 20. Porcentajes de cumplimiento de necesidades nutricionales para una GDG de 1 kg/día. A. Para un animal de 250 kg durante la Fase 1. B. Para una animal de 400 kg durante la Fase 2.

Las novillas de los grupos CON, CAT y CLF lograron llenar sus requerimientos de minerales aún con el consumo asumido de SMO más bajo (60 g/día), salvo en el caso del calcio durante la Fase 1. Esto ayuda a explicar la falta de respuesta ante la suplementación parenteral, ya que el SMO cubrió los requerimientos de la mayoría de los minerales. No obstante, al aplicar suplementos minerales vía parenteral a animales cuyas dietas proveen lo suficiente, se espera que las reservas corporales de dichos minerales se acrecienten, lo cual evita la mala absorción por antagonismos de la dieta, mejora la actividad de la maquinaria enzimática corporal y permite al animal sobrellevar mejor las condiciones de estrés o la variabilidad en la provisión de minerales en la dieta (Pogge *et al.* 2012, Genther y Hansen 2014).

Nótese que otros minerales fueron suplementados en niveles excesivos (más de tres veces el requerimiento) tales como magnesio, manganeso, zinc, cobre, yodo y selenio. En algunos casos se debe principalmente a los contenidos altos de dichos minerales por parte de las materias primas empleadas. Tal es el caso del hierro, presente de manera importante en los subproductos de musáceas como la cáscara de banano y el banano verde. Pero la mayoría se deben principalmente a una concentración excesiva del elemento en el suplemento. Esto podría indicar que el tipo de suplemento mineral usado no es el más adecuado para animales en etapa de crecimiento. Ante la creciente preocupación por la excesiva “huella mineral” de la ganadería intensificada (López-Alonso 2012) es importante racionalizar el uso de suplementos minerales, de manera que cubran las necesidades de los animales pero no generen excesos nocivos para el bolsillo del productor y el medio ambiente.

## 6. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta los resultados del uso de un suplemento mineral oral y dos suplementos parenterales en el desarrollo corporal de novillas *Bos taurus* x *Bos indicus*. En el mismo se determinó que el uso de un SMO, no tuvo efectos en el peso, GDP, AC, AG, LL, LC, ANI, CT, AOL y PGD, en comparación con un testigo que solo consumió sal blanca. Tampoco tuvo efecto en índices zoométricos como compacidad, anamorfosis y proporcionalidad.

No obstante, la suplementación mineral oral mejoró desarrollo en ANC, 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.

Por otro lado, mientras un suplemento fuente de 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. Esto permite esperar que los animales que recibieron este último tratamiento tengan una menor aptitud para la producción cárnica, con una conformación inferior a la de los otros grupos según Parés-Casanova (2009).

Por otra parte, se determinó que el grupo que consumía solamente sal blanca presentaba importantes deficiencias en su ingesta de minerales, principalmente en su ingesta de selenio, cobre y calcio, lo cual, aunque no se vio reflejado en la respuesta productiva, podría acarrear consecuencias económicas, como producción subóptima o morbilidad.

Dichas deficiencias se vieron cubiertas en los otros tratamientos, al suplementar oralmente con 60 g de un multimineral. Sin embargo, las concentraciones de algunos elementos provistos podrían ser excesivas para animales en crecimiento. Lo anterior se traduce en pérdidas económicas, contaminación ambiental y desgaste rápido de recursos no renovables.

Parte de la falta de respuesta hacia la aplicación de inyectables podría deberse a que las necesidades de minerales fueron cubiertas, en su mayoría, por los suplementos orales.

En síntesis, aunque no se determinaron diferencias en la ganancia de peso de novillas estabuladas que recibieron suplementación mineral oral o suplementos inyectables, las modificaciones observadas en la morfología dan pie a especular sobre posibles cambios en rendimiento de las canales. Mientras el uso de suplementos orales parece beneficioso, los suplementos parenterales no presentaron efectos deseables, por lo cual su uso no se considera apropiado.

## 7. RECOMENDACIONES

El hecho de que la mayoría de las variables estudiadas (especialmente en el peso) no respondieran a la suplementación mineral vía oral no debe verse como un descrédito a su uso, pues si fuera así se estaría ignorando importante evidencia que señala el carácter imprescindible de los minerales para el correcto desarrollo del animal. Más bien, el presente trabajo es un llamado a establecer estrategias racionales de nutrición mineral, basadas en el conocimiento de las dietas basales, a fin de evitar excesos y deficiencias de minerales.

Los productores y los técnicos que los asesoran deben contar con información proveniente de análisis químicos de las materias alimenticias empleadas en su sistema productivo, o en su defecto, de bases de datos nacionales con el contenido de minerales de diferentes forrajes, suplementos y materias primas usadas en la elaboración de alimentos balanceados. Lo anterior permite que se escoja de manera adecuada el tipo y calidad de los suplementos minerales que deben utilizar, evitando caer en preferencias de ciertas marcas “de renombre” o en engaños a partir de información manipulada que apunte a que mayores cantidades de un elemento específico (P o Se, por ejemplo) le van a generar mayores ganancias, ignorando así que estas estrategias van en contra del medio ambiente y del bolsillo del productor.

Por otra parte, los datos encontrados permiten recomendar la suplementación mineral ya que puede ayudar a acelerar el desarrollo pélvico de las novillas, lo que conlleva a que estructuralmente estén preparadas a menor edad para llevar a buen término una preñez, lo cual reduciría la incidencia de problemas de distocia. Sin embargo, si se considera que ya para los 16 meses de edad, las diferencias habían desaparecido, y que los partos idealmente deberían ocurrir a los 24 meses, no parece tener demasiado sentido esperar mejoras en la facilidad de parto, pero sí en la deposición de carne en los cuartos traseros.

Aunque en este trabajo se discute que los aumentos en IP observados podrían dar lugar a disminuciones en el rendimiento del animal, esto no pudo ser comprobado debido a que las novillas no fueron enviadas a matadero y porque las

variables ultrasonográficas no pudieron ser evaluadas en la parte final del experimento.

Sin embargo, el solo hecho del trabajo extra que se requiere para aplicar los suplementos parenterales empleados en este estudio, aun partiendo del supuesto que no desmejoren los rendimientos en canal no da pie a recomendarlos como estrategias útiles en el desarrollo corporal de novillas, ya que los costos son altos y su efecto, nulo o negativo.

Este trabajo señala la necesidad de estudiar las posibles modificaciones morfológicas que pueden suceder al manejar estratégicamente la suplementación mineral, ya que los cambios observados en variables como ANC e IP permiten deducir que tal vez, mediante algún tipo de suplementación sea posible manipular la conformación de los animales, haciéndolos más aptos para determinados sistemas de producción o para juzgamientos que incluyan la calificación de tipo y conformación.

Es también importante investigar el efecto en el metabolismo de algunas de las soluciones parenterales comunes en el mercado nacional, ya que se promueven como mejoradores productivos, pero lo cierto es que su mecanismo de acción es incierto, y probablemente algunas de las propiedades que se les achacan solamente se observan ante ciertas condiciones fisiopatológicas o nutricionales de los animales. Así también es necesario determinar la costo-efectividad de estos productos, para que los productores tengan claro cuánto pueden ganar (o perder) al usarlos.

Además, es necesario repetir el estudio con animales en pastoreo y/o machos, a fin de determinar si los suplementos evaluados tienen alguna efectividad dadas esas condiciones. En futuros estudios deberá de controlarse más detalladamente el consumo de alimento de los animales, realizarse muestreos periódicos de las materias alimenticias empleadas, tomarse mediciones de la profundidad del pecho (que es una variable que no se consideró en el presente estudio pero que puede resultar esclarecedora), así como muestras de sangre, hígado y hueso. Además, de ser posible, evaluar el rendimiento cárnico de los animales.

## 8. LITERATURA CITADA

- AHMED M.M.M., FADLALLA I.M.T., BARRI M.E.S 2002. A possible association between dietary intake of copper, zinc and phosphate and delayed puberty in heifers in Sudan. *Tropical Animal Health and Production* 34:75-80. DOI: 10.1023/A:1013794030011.
- AHOLA J.K., BAKER D.S., BURNS P.D., MORTIMER R.G., ENNS R.M., WHITTIER J.C., GEARY T.W., ENGLE T.E. 2004. Effect of copper, zinc, and manganese supplementation and source on reproduction, mineral status, and performance in grazing beef cattle over a two year period. *Journal of Animal Science* 82:2375-2383. DOI: /2004.8282375x.
- AHOLA J.K., SHARPE L.R., DORTON K.L., BURNS P.D., STANTON T.L., ENGLE T.E. 2005. Effects of lifetime copper, zinc, and manganese supplementation and source on performance, mineral status, immunity, and carcass characteristics of feedlot cattle. *Professional Animal Scientist* 21:305–317.
- ALIMON A.R. 2004. The nutritive value of palm kernel cake for animal feed. *Palm Oil Developments* 40:12-14.
- ALMEIDA V.V.S., QUEIROZ A.C., SILVA R.R., SILVA F.F., OLIVEIRA A.C., SANTANA JÚNIOR H.A. 2009. Body composition and net and dietary macrominerals requirements of Nellore steers under grazing. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38(6):1081-1087.
- ALONSO J., BAHAMONDE A., VILLA A., CASTAÑÓN Á.R. 2007. Morphological assessment of beef cattle according to carcass value. *Livestock Science* 107:265–273. DOI: 10.1016/j.livsci.2006.09.027.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2012. Official methods of analysis. 19 ed. Rockville, MA, Estados Unidos.
- ARAÚJO J.P., CERQUEIRA J.O.L., MENDES C., PENEDO I., IGLESIAS A. CADAVEZ V. 2013. Relación entre medidas biométricas y peso vivo en vacas lecheras de raza frisona, p. 22-24. In: *Memorias de las XV Jornadas de Producción Animal*, tomo I. Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario. Zaragoza, España.

- ARAÚJO J.P., MACHADO H., CANTALAPIEDRA J., IGLESIAS A., PETIM-BATISTA F., COLAÇO J., SANCHEZ L. 2006. Biometric analysis of Portuguese Minhota cattle. In: Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Belo Horizonte, MG, Brasil.
- ARC (Agricultural Research Council). 1980. The nutrient requirements of ruminant livestock. CAB International, Wallingford, Reino Unido. 346 p.
- ARTINGTON J.D., MORIEL P., MARTINS P.G.M.A., LAMB G.C., HAVENGA L.J. 2014. Effects of trace mineral injections on measures of performance and trace mineral status of pre- and postweaned beef calves. *Journal of Animal Science* 92:2630–2640. DOI:10.2527/jas.2013-7164.
- BASTIDAS P.S. 1999. Pubertad en novillas y toros Brahman. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 16: 690-707.
- BASTIDAS P.S. 2002. Conociendo el peso ideal al servicio de sus novillas de reemplazo. *Venezuela Bovina* 52:76.
- BATAL A., DALE N. 2003. Mineral composition of distillers dried grains with solubles. *Journal of Applied Poultry Research* 12:400–403. DOI: 10.1093/japr/12.4.400.
- BAYRAM B., GÜLER O., YANAR M., AKBULUT Ö. 2006. Relationships among body weight, body measurements and estimated feed efficiency characteristics in Holstein Friesian cows. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty* 3(1):64-67.
- BCCR (Banco Central de Costa Rica). 2015. Indicadores económicos (en línea). San José, Costa Rica. Consultado el 1 de setiembre de 2015. Disponible en [http://www.bccr.fi.cr/indicadores\\_economicos\\_/](http://www.bccr.fi.cr/indicadores_economicos_/).
- BELLENDÁ O.G. 2003. La ultrasonografía aplicada a la calidad y capacidad carnicera en el animal vivo. *Nuestro Campo* 11(94):44-48.
- BENÍTEZ D.; BOZA P., RAMÍREZ A., DÍAZ M., TORRES V., GUERRA J. 2003. Comportamiento productivo de los rebaños de cría de bovinos en el Valle del Cauto, Cuba. *Revista de Producción Animal* 15(1):17-21.
- BIF (Beef Improvement Federation, US). 2010. Guidelines for uniform beef improvement programs. 9 ed. Raleigh, NC, Estados Unidos. 183p.

- 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.
- BLOCK H.C., ERICKSON G.E., KLOPFENSTEIN T.J. 2004. Review: Re-evaluation of Phosphorus Requirements and Phosphorus Retention of Feedlot Cattle. *Professional Animal Scientist* 20:319-329.
- BOTACIO R., GARMENDIA J. 1997. Efecto de la suplementación mineral sobre el status mineral, parámetros productivos y reproductivos en bovinos a pastoreo. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 5(1):245-247.
- BRAVO S., SEPÚLVEDA N. 2010. Índices zoométricos en ovejas criollas Araucanas. *International Journal of Morphology* 28(2):489-495.
- BRICKELL J.S., WATHES D.C. 2009. The effect of growth rate on age at first calving, fertility and milk production during the first lactation of Holstein-Friesian heifers on UK dairy farms, p. 13. In: *Advances in Animal Biosciences: Proceedings of the Annual Conference of the British Society of Animal Science*, Southport, Reino Unido.
- BUSKIRK D.D., FAULKNER D.B., IRELAND F.A. 1995. Increased postweaning gain of beef heifers enhances fertility and milk production. *Journal of Animal Science* 73:937-946. DOI: /1995.734937x
- CAMACHO J. 2006. Cruzamientos en la producción bovina de carne. *ECAG Informa* 38:19-21.
- CAMPABADAL C. 2009. Efecto de la nutrición sobre la reproducción del ganado de leche. In: *Memorias del Congreso Nacional Lechero*, San Carlos, Costa Rica.
- CASAS E., TEWOLDE A. 2001. Evaluación de características relacionadas con la eficiencia reproductiva de genotipos criollos de carne en el trópico húmedo. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 9(2): 68-73.
- CASTILLO-BADILLA G., SALAZAR-CARRANZA M., HERRERA-MURILLO J., ROMERO-ZÚÑIGA J.J. 2011. Factores que afectan la edad al primer parto en vacas Jersey de lechería especializada en Costa Rica. *Revista de Ciencias Veterinarias* 29(1):7-19.

- CHELIKANI P.K., AMBROSE J.D., KENNELLY J.J. 2003. Effect of dietary energy and protein density on body composition, attainment of puberty and ovarian follicular dynamics in dairy heifers. *Theriogenology* 60:707-725. DOI: 10.1016/S0093-691X(03)00088-8.
- 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. *Canadian Veterinary Journal* 52:1089–1094.
- 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.
- CONTRERAS G., CHIRINOS Z., MOLERO E., PAÉZ A. 2012. Medidas corporales e índices zoométricos de toros Criollo Limonero de Venezuela. *Zootecnia Tropical* 30(2):175-181.
- CONTRERAS G., CHIRINOS Z., ZAMBRANO S., MOLERO E., PAÉZ A. 2011. Caracterización morfológica e índices zoométricos de vacas Criollo Limonero de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 28: 91-103.
- CORAH L.R., HIXON D.L. 1999. Replacement heifer development. Beef Cattle Resource Committee of the North Central Land Grant Universities Extension. Iowa, Estados Unidos. 4 p. (Serie Beef Cattle Handbook, no. 2100).
- 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. *Livestock Science* 181:17-24. DOI: 10.1016/j.livsci.2015.09.024.
- CSEH S.B., RODRÍGUEZ-GARCÍA M.J., SCIOTTI A. Y CAMPERO C.M. 2012. Efecto de la suplementación con Mg sobre diversos parámetros en vacas con restricción alimentaria. *Archivos de Zootecnia* 61 (236):525-536.
- CURTIS P.R., GRUSOVIN J. 1985. Determination of molybdenum in plant tissue by Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry (GFAAS).

Communications in Soil Science and Plant Analysis 16(12):1279-1291.  
DOI: 10.1080/00103628509367686.

DAY M.L., NOGUEIRA G.P. 2013. Management of age at puberty in beef heifers to optimize efficiency of beef production. *Animal Frontiers* 3(4):6-11.

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. *Journal of Animal Science* 91:3341–3351. DOI: 10.2527/jas2012-5233.

DEPABLOS L., ORDÓÑEZ J., GODOY S., CHICCO C.F. 2009. Suplementación mineral proteica de novillas a pastoreo en los Llanos Centrales de Venezuela. *Zootecnia Tropical* 27(3):249-262.

ENDECOTT R.L., FUNSTON R.N., MULLINIKS J.T., ROBERTS A.J. 2013. Implications of beef heifer development systems and lifetime productivity. *Journal of Animal Science* 91:1329–1335. DOI:10.2527/jas.2012-5704.

ESSER N.M., HOFFMAN P.C., COBLENTZ W.K., ORTH M.W., WEIGEL K.A. 2009. The effect of dietary phosphorus on bone development in dairy heifers. *Journal of Dairy Science* 92:1741–1749. DOI: 10.2527/jas.2011-4100.

FELIX T.L., WEISS W.P., FLUHARTY F.L., LOERCH S.C. 2012. Effects of copper supplementation on feedlot performance, carcass characteristics, and rumen sulfur metabolism of growing cattle fed diets containing 60% dried distillers grains. *Journal of Animal Science* 90:2710–2716. DOI: 10.2527/jas.2011-4100.

FERNÁNDEZ E.N.; MARTÍNEZ R.D.; GÉNERO E.R.; BROCCOLI A.M. 2007. Índices zoométricos en bovinos criollos de origen patagónico y del noroeste argentino. *Veterinaria (Montevideo)* 42(165-166):23-27.

FERRARIO J.D., FERNÁNDEZ M.A. 2007. Estudio de características de carcasa por ultrasonido: Medir para creer. *Revista Braford* 23(58):72-75.

FREKING B. 2000. Heifer management. The Kerr Center for Sustainable Agriculture, Poteau, OK, Estados Unidos. 10 p.

FRY G. 2007. Linear measurements, guidelines and correlations, female (en línea). Bovine Engineering and Consulting, Rose Bud, AZ, Estados Unidos.

Consultado 9 de marzo de 2015. Disponible en:  
[http://www.bovineengineering.com/linear\\_female.html](http://www.bovineengineering.com/linear_female.html).

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. *Journal of Dairy Science* 93:4155–4164. DOI:10.3168/jds.2009-2914.

GAUDIOSO V., SANZ-ABLANEDO E., LOMILLOS J.M., ALONSO M.E., JAVARES-MORILLO L., RODRÍGUEZ P. 2014. “Photozoometer”: A new photogrammetric system for obtaining morphometric measurements of elusive animals. *Livestock Science* 165:147–156. DOI: 10.1016/j.livsci.2014.03.028.

GENTHER O, HANSEN S. 2012. Investigation of the impact of mineral status and use of an injectable mineral on beef cattle performance. Iowa State University Animal Industry Report – R2693.

GENTHER O, HANSEN S. 2014. A multielement trace mineral injection improves liver copper and selenium concentrations and manganese superoxide dismutase activity in beef steers. *Journal of Animal Science* 92:695-704. DOI:10.2527/jas.2013-7066.

GIORGETTI A., BOZZI R., FUNGHI R. 1994. Preliminary observations on the biometric characteristics of zebu populations (Girolandia-Nellore) reared in the northeast of Brazil (Fortaleza-Ceará). *Tropicultura* 12(4):164-166.

GONZÁLEZ-VELASCO H.M., GARCÍA-ORELLANA C.J., MACÍAS-MACÍAS M., GALLARDO-CABALLERO R., GARCÍA-MANSO A. 2011. A morphological assessment system for ‘show quality’ bovine livestock based on image analysis. *Computers and Electronics in Agriculture* 78(1):80-87. DOI: 10.1016/j.compag.2011.06.003.

GRACE N.D., KNOWLES S.O. 2012. Trace element supplementation of livestock in New Zealand: Meeting the challenges of free-range grazing systems. *Veterinary Medicine International* 2012, DOI: 10.1155/2012/639472.

GREGORY K.E., CUNDIFF L.V., KOCH R. 1982. Characterization of breeds representing diverse biological types: Postweaning growth and puberty of females. Roman L. Hruska U.S. Meat Animal Research Center Beef Research Report 2:9-10.

- GREINER S.P., ROUSE G.H., WILSON D.E., CUNDIFF L.V., WHEELER T.L. 2003. Accuracy of predicting weight and percentage of beef carcass retail product using ultrasound and live animal measures. *Journal of Animal Science* 81:446-473. DOI:/2003.812466x
- HAMOEN A. 2014. Progress of type harmonisation. Report and Recommendations. World Holstein Friesian Federation, Tring, Reino Unido. 17 p.
- HANSEL A., FUHRMANN H., SALLMANN H.-P., KLEE W. 1992. Intravenöse infusion flüchtiger fettsäuren als stoffwechselbelastungstest zur überprüfung möglicher Butafosfanwirkungen auf den energiestoffwechsel des rindes. *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 105:361-366.
- HEINRICHS A.J., ZANTON G.I., LASCANO G.J. 2010. Nutritional strategies for replacement dairy heifers: Using high concentrate rations to improve feed efficiency and reduce manure production, p. 107-112. In: Proceedings of the 21st Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium, Gainesville, Florida.
- 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 de Licenciatura. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 130p.
- HERRERA M., LUQUE M. 2009. Morfoestructura y sistemas para el futuro en la valoración morfológica valoración morfológica, p. 79-102. In: Sañudo C. (ed). *Valoración morfológica de los animales domésticos*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, España.
- HOOVER W.L., MELTON J.R, HOWARD P.A. 1971. Determination of iodide in feeds and plants by ion-selective electrode analysis. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 54:760–763.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados Generales. San José, Costa Rica. 146 p.
- JOHNSTON D.J., BARWICK S.A., CORBET N.J., FORDYCE G., HOLROYD R.G., WILLIAMS P.J., BURROW H.M. 2009. Genetics of heifer puberty in two tropical beef genotypes in northern Australia and associations with heifer- and steer-production traits. *Animal Production Science* 49:399–412. DOI: 10.1071/EA08276.

- KEGLEY E.B., COFFEY K.P.; RICHESON J.T. 2012. Effects of trace mineral injection 28 days before weaning on calf health, performance and carcass characteristics. *Arkansas Agricultural Experimental Station Research Series* 597:30-33.
- KHANAL D.R., KNIGHT A.P. 2010. Selenium: Its role in livestock health and productivity. *The Journal of Agriculture and Environment* 11:101-106.
- KING D.A., LAWRENCE T.E., DIKEMAN M.E., SCHAFER D.E. 2001. Interrelationships among carcass characteristics of feedlot steers and heifers selected for competition, p. 70-73. In: *Cattlemen's Day 2001 Conference Papers*. Kansas State University, Manhattan, KS, Estados Unidos.
- KOLKMAN I., OPSOMER G., AERTS S., HOFLACK G., LAEVENS H., LIPS D. 2010. Analysis of body measurements of newborn purebred Belgian Blue calves. *Animal* 4(5): 661-671. DOI: 10.1017/S1751731109991558.
- 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. *Journal of Dairy Science* 94 :4904–4914. DOI: 10.3168/jds.2010-4080.
- LARDNER H.A., DAMIRAN D., HENDRICK S., LARSON K., FUNSTON R. 2014. Effect of development system on growth and reproductive performance of beef heifers. *Journal of Animal Science* 92:3116–3126. DOI: 10.2527/jas.2013-7410.
- LIAO S.F. BROWN K.R., STROMBERG A.J., BURRIS, W.R., BOLING J.A., MATTHEWS J.C. 2011. Dietary supplementation of selenium in inorganic and organic forms differentially and commonly alters blood and liver selenium concentrations and liver gene expression profiles of growing beef heifers. *Biological Trace Element Research* 140:151–169. DOI: 10.1007/s12011-010-8685-2
- LITTELL R.C., PENDERGAST J., NATARAJAN R. 2000. Modelling covariance structure in the analysis of repeated measures data. *Statistics in Medicine* 19(13):1793-1819. DOI: 10.1002/1097-0258(20000715)19:13<1793::AID-SIM482>3.0.CO;2-Q.
- LOOPER M.L., ROSENKRANS C.F., JOHNSON Z.B., BROWN A.H., HORNSBY J.A., PERKINS J.L. 2002. Relationships among growth characteristics of replacement angus heifers. *Professional Animal Scientist* 18:120-126.

- LÓPEZ-ALONSO M. 2012. Trace minerals and livestock: Not too much, not too little. ISRN Veterinary Science 2012, DOI: 10.5402/2012/704825.
- MADALENA F.E., TEODORO R.L., MADUREIRA A.P. 2003. Relationships of height and weight with age in hybrid Holstein-Friesian/Guzerá females. Genetics and Molecular Research 2(3):271-278.
- MADRID A.M., MATAMOROS Y. 2013. Inducción de celo y porcentaje de preñez en vacas con Catosal® o Calfosvit Se® al momento del retiro del implante intravaginal DIV-B®. Proyecto especial de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. 14 p.
- MAQUIVAR M., GALINA C.S., GALINDO J., ESTRADA S., MOLINA R., MENDOZA G.D. 2010. Effect of protein supplementation on reproductive and productive performance in *Bos taurus* x *Bos indicus* heifers raised in the humid tropics of Costa Rica. Tropical Animal Health and Production 42: 555-560. DOI 10.1007/s11250-009-9470-0.
- MAQUIVAR M., GALINA C.S., VERDUZCO A., GALINDO J., MOLINA R., ESTRADA S. 2006: Reproductive response in supplemented heifers in the humid tropics of Costa Rica. Animal Reproduction Science 93:16–23. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2005.05.033.
- MATA L. 2011. Tabla de composición de materias primas usadas en alimentos para animales. Sistema Editorial de Difusión Científica de la Información, San José, Costa Rica. 132 p.
- MATAMOROS J.E., MORENO J.G. 2009. Efecto de la aplicación de Calfosvit® Se sobre el comportamiento reproductivo de vacas lecheras. Proyecto especial de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. 17 p.
- MCDOWELL L.R., ARTHINGTON J.D. 2005. Minerales para rumiantes en pastoreo en regiones tropicales. 4 ed. University of Florida, Gainesville, FL, Estados Unidos. 94 p.
- MÉNDEZ J.B. 2008. Agro-cadena de la ganadería bovina de carne de la Región Chorotega: Plan Estratégico para el desarrollo de la agrocadena de la ganadería bovina de carne en la Región Chorotega. Federación de Cámaras de Ganaderos de Guanacaste, MAG, BNCR y CORFOGA; San José, Costa Rica. 72 p.

- MIDEPLAN (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, CR). 2014. Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 “Alberto Cañas Escalante”. San José, Costa Rica. 560 p.
- MONTEIRO F.M., MERCADANTE M.E.Z., BARROS C.M., SATRAPA R.A., SILVA J.A.V., OLIVEIRA L.Z., SARAIVA N.Z., OLIVEIRA C.S., GARCIA J.M. 2013. Reproductive tract development and puberty in two lines of Nelore heifers selected for postweaning weight. *Theriogenology* 80:10–17. DOI: 10.1016/j.theriogenology.2013.02.013.
- MORA D., ALFARO N., PORTUGUÉS C.F., PEINADOR M. 2000. Cálculos en las vías urinarias y su relación con el consumo de calcio en el agua de bebida de Costa Rica. Instituto Costarricense De Acueductos y Alcantarillados, La Unión, Costa Rica. 11 p.
- 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. *Revista Científica FCV-LUZ* 20:519-528.
- 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. *Revista de la Facultad de Agronomía (UCV)* 36(3):83-94.
- MORA S., BORBÓN M. 2014. Desempeño del Sector Agropecuario 2014. SEPSA, San José, Costa Rica. 10 p.
- MORIEL P., ARTHINGTON J.D. 2013. Effects of trace mineral-fortified, limit-fed preweaning supplements on performance of pre- and postweaned beef calves. *Journal of Animal Science* 91:1371–1380. DOI:10.2527/jas.2012-5469.
- MOTA L.F.M., MARIZ T.M.A., RIBEIRO J.S., PIRES A.V., BONAFÉ C.M., SILVA M.E.F. 2013. Caracterização do biótipo e correlações fenotípicas entre índices zoométricos e entre peso corporal e índices zoométricos em animais Nelores jovens. In: *Anais do X Simpósio Brasileiro de Melhoramento Animal, Sociedade Brasileira de Melhoramento Animal*. Uberaba, MG, Brasil.
- NARVÁEZ M.C., NÚÑEZ R. 2013. Porcentaje de preñez en vacas lecheras sincronizadas con dispositivos intravaginales DIV-B® y la aplicación de

Butaphosfano + Cianocobalamina al momento de la inseminación artificial. Proyecto especial de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Tegucigalpa, Honduras. 15 p.

NRC (National Research Council, US). 1996. Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7 ed. rev. National Academy Press, Washington D.C., Estados Unidos. 232 p.

NRC (National Research Council, US). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7 ed. rev. National Academy Press, Washington D.C., Estados Unidos. 408 p.

OBISPO N.E., GARMENDIA J., GODOY S., CHICCO C.F., ACEVEDO D. 2002. Suplementación mineral y proteica de bovinos de carne pastoreando en sabanas naturales donde ocurre el síndrome parapléjico. Revista Científica FCV-LUZ 12(3):161-168

OLIVEIRA A.S., ABREU D.C., FONSECA M.A., ANTONIASSI P.M. 2013. Short communication: Development and evaluation of predictive models of body weight for crossbred Holstein-Zebu dairy heifers. Journal of Dairy Science 96(10):6697-6702. DOI: 10.3168/jds.2013-6988.

OTROCKA-DOMAGAŁA I., ROTKIEWICZ T., PODBIELSKI M., WIŚNIEWSKA A., DRZEWIECKA A. 2009. Effect of butaphosphane and cyanocobalamin on regeneration of muscle fibres in pigs. Polish Journal of Veterinary Sciences 12(3):329-338.

PARÉS-CASANOVA P.M. 2009. Zoometría, p. 171-198. In: Sañudo C. (ed). Valoración morfológica de los animales domésticos. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, España.

PEÑA F., SANTOS R., JUÁREZ M., AVILÉS C., DOMENECH V., GONZÁLEZ A., MARTÍNEZ A., MOLINA A. 2014. The use of ultrasound scanning at different times of the finishing period in lean cattle. Livestock Science 167:381–391. DOI: 10.1016/j.livsci.2014.05.016.

PICCIRILLO D.A. 2008. Una técnica para sacarle el jugo: Ultrasonido para calidad de carne. Revista Brangus 57:82-84.

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. *Journal of Animal Science* 90:2692-2698. DOI:10.2527/jas2012-4482.

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. *Annals of Animal Science* 14(2):429–439. DOI: 10.2478/aoas-2014-0004.

REIS L.S., CHIACCHIO S.B., PARDO P.E., OBA E., GIUFFRIDA R., FRAZATTI-GALLINA N.M. 2008. Selenium supplementation enhances weight gain in cattle. *Archivos de Zootecnia* 57(218):271-274.

REIS P.O., MARTINS C.M., SALES J.N.S., PULGA M.E., BRANDEBURGO É.S., DURAN M., VIEIRA L.M., BARUSELLI P.S. 2012. Effect of the supplementation with injectable tonic, organic phosphorus based associated with vitamin B12 (B12 Catosal®) in the in vitro embryo production of Gyr donors. *Animal Reproduction* 9(3):562 (abstract).

ROJAS J.S., CASAS M.P., TÍNEZ G. 2014. Caracterización morfométrica y determinación de índices zoométricos de un hato de ganado criollo Blanco Orejinegro (BON) puro, en Pacho (Cundinamarca). *Revista Sistemas de Producción Agroecológica*. 5:1-16

SALAMANCA C.A., CROSBY G.R.A. 2013. Comparación de índices zoométricos en dos núcleos de bovinos criollos casanare en el municipio de Arauca. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal* 3:59-64.

SALAZAR-CARRANZA M., CASTILLO-BADILLA G., MURILLO-HERRERA J., HUECKMANN-VOSS F., ROMERO-ZÚÑIGA J.J. 2013. Edad al primer parto en vacas Holstein de lechería especializada en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 24(2):233-243.

SAMADI F., BLACHE D.B., MARTIN G.B., D'OCCHIO M.J. 2014. Nutrition, metabolic profiles and puberty in Brahman (*Bos indicus*) beef heifers. *Animal Reproduction Science* 146(3-4):134-142. DOI: 10.1016/j.anireprosci.2014.03.004.

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. *Agronomía 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. *Agronomía Costarricense*. 23(2):179-185.
- SAS INSTITUTE INC. 2011. Base SAS® 9.3 Procedures Guide. Cary, NC, Estados Unidos.
- SCHROEDER U.J., STAUFENBIEL R. 2006. Invited review: Methods to determine body fat reserves in the dairy cow with special regard to ultrasonographic measurement of backfat thickness. *Journal of Dairy Science* 89:1–14. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72064-1.
- SEGURA-CORREA J.C., MAGAÑA-MONFORTE J.G., CENTURIÓN-CASTRO F., SEGURA-CORREA V.M. 2013. Efecto de grupo racial y edad al primer parto sobre el número de partos durante la vida útil de vacas Cebú. *Archivos de Medicina Veterinaria* 45:41-44.
- SEPSA (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria, CR). 2014. Boletín Estadístico Agropecuario No. 24. San José, Costa Rica, 188 p.
- SHAFFER K.S., TURK P., WAGNER W.R., FELTON E.E.D. 2011. Residual feed intake, body composition, and fertility in yearling beef heifers. *Journal of Animal Science* 89:1028–1034. DOI:10.2527/jas.2010-3322
- SIEBER M., FREEMAN A.E., KELLEY D.H. 1988. Relationships between body measurements, body weight and productivity in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 71:3437-3445. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(88)79949-X.
- SIERRA I. 2009. Importancia de la morfología y su valoración en los animales domésticos, p. 23-48. In: Sañudo C. (ed). *Valoración morfológica de los animales domésticos*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España.
- SILVA C.R., CARVALHO F.S.R., PULGA M.R. 2009. Avaliação do ganho de peso em bovinos confinados após aplicação do produto Catosal® B12. *A Hora Veterinária* 29(169):27-30.
- STOCKTON M.C., WILSON R.K., FEUZ D.M., STALKER L.A., FUNSTON R.N. 2014. Bioeconomic factors of beef heifer maturity to consider when establishing criteria to optimally select and/or retain herd replacements. *Journal of Animal Science* 92:4733–4740. DOI:10.2527/jas.2014-8010.

- STYGAR A.H., KRISTENSEN A.R., MAKULSKA J. 2014. Optimal management of replacement heifers in a beef herd: A model for simultaneous optimization of rearing and breeding decisions. *Journal of Animal Science* 92:3636–3649. DOI:10.2527/jas.2010-7535.
- SUTTLE N.F. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*. 4 ed. CAB International, Wallingford, Reino Unido. 579 p.
- VALADARES FILHO S.C., MARCONDES M.I., CHIZZOTTI M.L., PAULINO P.V.R. 2010. Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados BR-CORTE. 2 ed. Universidade Federale de Viçosa, MG, Brasil. 193 p.
- VAN DER WESTHUIZEN J. 2014. Making sense out of maturity types in beef cattle: breeding practice. *SA Stud Breeder* 37:23-25.
- VARGAS E., SOLÍS R., TORRES M., MC DOWELL L. 1992. Selenio y cobalto en algunos forrajes de Costa Rica: Efecto de la época climática y el estado vegetativo. *Agronomía Costarricense* 16(2):171-176.
- WÓJCIK P., KRUK. M. 2010. The use of zoometric measurements of cows for determination of rump conformation and course of parturition. *Annals of Animal Science* 10(3):249–260.
- YAKUBU A. 2010. Fixing multicollinearity instability in the prediction of body weight from morphometric traits of White Fulani cows. *Journal of Central European Agriculture* 11(4):487-92.
- ZANTON G.I., HEINRICHS A.J. 2005. Meta-analysis to assess effect of prepubertal average daily gain on Holstein heifers on first-lactation production. *Journal of Dairy Science* 88:3860-3867. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)73071-X.

# ANEXO 1. Informes de análisis químicos realizados en el CINA

|   |  |   |
|---|--|---|
|  | <b>UNIVERSIDAD DE COSTA RICA</b><br><b>Centro de Investigación en Nutrición Animal</b><br>Teléfono (506) 2511-2049 ó (506)2511-2055. Fax: 2234-2415<br>Ciudad de la investigación, Sabanilla, San José, Costa Rica |  |
|---|--|---|

|  |                                 |                          |
|--|---------------------------------|--------------------------|
| Código: R-TE-18                            | <b>INFORME DE ENSAYO</b>        | Fecha de Emisión:        |
| Versión: 4                                 |                                 | 29-05-2012               |
| <b>INFORMACIÓN GENERAL DE LA SOLICITUD</b> |                                 |                          |
| Consecutivo                                | Fecha de recepción de muestras: | Tipo de cliente:         |
| GE-2593                                    | 02-12-2014 13:36:26             | Exonerado                |
| <b>INFORMACIÓN GENERAL DEL CLIENTE</b>     |                                 |                          |
| Nombre: Dirección CINA                     |                                 |                          |
| Teléfono:                                  | Fax:                            | Correo Electrónico:      |
| 2511-2056                                  | 2234-2415                       | augusto.rojas@ucr.ac.cr  |
|  |                                 | Nombre Solicitante:      |
|  |                                 | Luis Alejandro Rodríguez |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| <b>INFORMACIÓN GENERAL DE LA(S) MUESTRA(S)</b>         |                       |
| Tipo de muestra:                                       | Pasto King grass      |
| Nombre o descripción del producto:                     | Pasto King grass      |
| Presentación de la muestra:                            | bolsa plástica        |
| Fecha de toma de la muestra(s):                        | 1-12-14               |
| Proceso de elaboración:                                | picado fresco         |
| Parte de la planta/animal que compone:                 | tallo y hojas         |
| Procedencia Geográfica:                                | Limón-Pococi-Guápiles |
| Importado de:  |                       |
| Elaborado por:   | na                    |
| Forma de muestreo utilizada: muestra compuesta al azar |                       |

-El muestreo es responsabilidad del cliente y los resultados en este informe se refieren únicamente a las muestras ensayadas.

-Los resultados químicos se reportan utilizando un factor de cobertura  $k=2$  y una probabilidad de cobertura de 95% y corresponde al método de ensayo utilizado. La incertidumbre se expresa de forma relativa o como intervalos de confianza y reflejan la precisión del mesurando. Para el análisis de energía bruta, el factor de conversión es 4,184 J/cal. El método de *Escherichia coli* por NMP detecta las cepas indol positivas (95 %).

-Documento no válido sin firmas originales y sello blanco del Centro de Investigaciones en Nutrición Animal. Cualquier copia parcial de este documento invalida los resultados presentados en él.

-Se conserva una muestra de respaldo por 3 meses, excepto para las muestras con ensayos microbiológicos.

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS**

Acreditados=Verde

No Acreditados=Negro

Página # 1

Contrato # GE-2593

Cuando aplique resultados en base fresca y seca, se indica el primero en base fresca y entre paréntesis cuadrados en base seca



| Identificación Muestra | Laboratorio          | Análisis Solicitados  | Resultados                              |
|------------------------|----------------------|---|---|
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Humedad a 60 °C (Materia Seca a 60 °C)<br>Adapt. Goering y Van Soest. Forage Analysis, ARS/USDA | (88,1 (11,87)±0,6 (0,08))g/100 g        |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Humedad 135 °C<br>[AOAC 930.15]   | (88,80± 0,99)g/100g                     |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Calcio<br>[AOAC 975.03, AOAC 968.08]  | (229,23± 1,11)mg/kg<br>[2 046,70]mg/kg  |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Magnesio<br>[AOAC 975.03, AOAC 985.35]  | (171,87± 0,02)mg/kg<br>[1 534,55]mg/kg  |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Fósforo<br>[AOAC 965.17, AOAC 986.24]   | (286,49± 23,19)mg/kg<br>[2 557,95]mg/kg |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Sodio<br>[AOAC 985.35]  | (21,72± 0,04)mg/kg<br>[193,93]mg/kg     |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Potasio<br>[AOAC 985.35, AOAC 975.03]   | (0,55± 0,02)g/100g<br>[4,91]g/100g      |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Hierro<br>[AOAC 968.08, AOAC 975.03]  | (22,71±16,65)mg/kg<br>[202,77]mg/kg     |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Zinc<br>[AOAC 968.08, AOAC 975.03]  | (2,89± 0,79)mg/kg<br>[25,80]mg/kg       |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Manganeso<br>[AOAC 968.08, AOAC 975.03]   | (11,51±0,38)mg/kg<br>[102,77]mg/kg      |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Cenizas<br>[AOAC 942.05]  | (1,52± 0,06)g/100 g<br>[13,57]g/100 g   |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Cobre<br>[AOAC 975.03, AOAC 968.08]   | (0,86± 0,06)mg/kg<br>[7,68]mg/kg        |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Cobalto<br>Analyst 1990, 115, 1323-1330   | (No detectado )mg/kg                    |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Selenio<br>[AOAC 996.17]  | (No detectado )µg/kg                    |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Molibdeno<br>Communications in soil science   | (No detectable (< 0,6 µg/kg) )          |
| King Grass             | Química<br>GE-2593-1 | Yodo<br>J Ass Off Anal Chem 54:760-763  | (2,37± 0,12)mg/kg<br>[21,2]mg/kg        |

Firmas Responsables

|   |   |                                      |                                       |
|---|---|--------------------------------------|---------------------------------------|
|  |  | _____                                | _____                                 |
| Responsable Laboratorio Química   | Ingeniero(a) Agrónomo Zootecnista Responsable                                     | Responsable Laboratorio Bromatología | Responsable Laboratorio Microbiología |

Las firmas indicadas en cada informe solo corresponden a los análisis solicitados y a los laboratorios que intervienen en su ejecución.

Firma Recibido

|        |       |
|--------|-------|
| _____  | _____ |
| Nombre | Fecha |



# UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

## Centro de Investigación en Nutrición Animal

Teléfono (506) 2511-2049 ó (506)2511-2055. Fax: 2234-2415

Ciudad de la investigación, Sabanilla, San José, Costa Rica



|                                     |                                 |                         |                          |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Código: R-TE-18                     | <b>INFORME DE ENSAYO</b>        |                         | Fecha de Emisión:        |
| Versión: 4                          |                                 |                         | 29-05-2012               |
| INFORMACIÓN GENERAL DE LA SOLICITUD |                                 |                         |                          |
| Consecutivo                         | Fecha de recepción de muestras: | Tipo de cliente:        |                          |
| GE-2592                             | 02-12-2014 13:30:23             | Exonerado               |                          |
| INFORMACIÓN GENERAL DEL CLIENTE     |                                 |                         |                          |
| Nombre: Direccion CINA              |                                 |                         |                          |
| Teléfono:                           | Fax:                            | Correo Electrónico:     | Nombre Solicitante:      |
| 2511-2056                           | 2234-2415                       | augusto.rojas@ucr.ac.cr | Luis Alejandro Rodríguez |

|   |                          |
|---|--------------------------|
| INFORMACIÓN GENERAL DE LA(S) MUESTRA(S)                 |                          |
| Tipo de muestra:  | Cáscara de banano maduro |
| Nombre o descripción del producto:                      | Cáscara de banano maduro |
| Presentación de la muestra:                             | bolsa plástica           |
| Fecha de toma de la muestra(s):                         | 1-12-14                  |
| Proceso de elaboración:                                 | fresco                   |
| Parte de la planta/animal que compone:                  | cáscara                  |
| Procedencia Geográfica:                                 | Limón-Pococi-Guápiles    |
| Importado de:   |                          |
| Elaborado por:  | Fructa                   |
| Forma de muestreo utilizada: muestreo compuesto al azar |                          |

-El muestreo es responsabilidad del cliente y los resultados en este informe se refieren únicamente a las muestras ensayadas.

-Los resultados químicos se reportan utilizando un factor de cobertura  $k=2$  y una probabilidad de cobertura de 95% y corresponde al método de ensayo utilizado. La incertidumbre se expresa de forma relativa o como intervalos de confianza y reflejan la precisión del mesurando.

Para el análisis de energía bruta, el factor de conversión es 4,184 J/cal. El método de *Escherichia coli* por NMP detecta las cepas indol positivas (95 %).

-Documento no válido sin firmas originales y sello blanco del Centro de Investigaciones en Nutrición Animal. Cualquier copia parcial de este documento invalida los resultados presentados en él.

-Se conserva una muestra de respaldo por 3 meses, excepto para las muestras con ensayos microbiológicos.

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS**

Acreditados=Verde  
 No Acreditados=Negro  
 Página # 1  
 Contrato # GE-2592



Quando aplique resultados en base fresca y seca, se indica el primero en base fresca y entre paréntesis cuadrados en base seca

| Identificación Muestra   | Laboratorio          | Análisis Solicitados  | Resultados                             |
|--------------------------|----------------------|---|--|
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Humedad a 60 °C (Materia Seca a 60 °C)<br>Adapt. Goering y Van Soest. Forage Analysis, ARS/USDA | (85,4 (14,63)±0,6 (0,10))g/100 g       |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Humedad 135 °C<br>[AOAC 930.15]   | (86,15± 0,96)g/100g                    |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Magnesio<br>[AOAC 975.03, AOAC 985.35]  | (199,40±0,02)mg/kg<br>[1 434,53]mg/kg  |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Fósforo<br>[AOAC 965.17, AOAC 986.24]   | (253,41±20,51)mg/kg<br>[1 823,09]mg/kg |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Sodio<br>[AOAC 985.35]  | (32,41± 0,04)mg/kg<br>[233,17]mg/kg    |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Potasio<br>[AOAC 985.35, AOAC 975.03]   | (0,61± 0,02)g/100g<br>[4,39]g/100g     |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Hierro<br>[AOAC 968.08, AOAC 975.03]  | (42,80± 16,65)mg/kg<br>[307,91]mg/kg   |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Zinc<br>[AOAC 968.08, AOAC 975.03]  | (2,22± 0,79)mg/kg<br>[15,97]mg/kg      |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Manganeso<br>[AOAC 968.08, AOAC 975.03]   | (7,65± 0,38)mg/kg<br>[55,04]mg/kg      |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Cenizas<br>[AOAC 942.05]  | (1,52± 0,05)g/100 g<br>[10,94]g/100 g  |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Calcio<br>[AOAC 975.03, AOAC 968.08]  | (381,82± 1,11)mg/kg<br>[2 746,91]mg/kg |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Cobre<br>[AOAC 975.03, AOAC 968.08]   | (1,22± 0,06)mg/kg<br>[8,78]mg/kg       |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Cobalto<br>Analyst 1990, 115, 1323-1329   | (No detectado )mg/kg                   |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Selenio<br>[AOAC 996.17]  | ( No detectado )µg/kg                  |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Molibdeno<br>Communications in soil science   | (No detectable (< 0,6 µg/kg )          |
| cáscara de banano maduro | Química<br>GE-2592-1 | Yodo<br>J Ass Ofic Anal Chem 54:760-763   | (4,85± 0,24)mg/kg<br>[34,9]mg/kg       |

Firmas Responsables

|   |   |                                      |                                       |
|---|---|--------------------------------------|---------------------------------------|
|  |  | _____                                | _____                                 |
| Responsable Laboratorio Química   | Ingeniero(a) Agrónomo Zootecnista Responsable                                     | Responsable Laboratorio Bromatología | Responsable Laboratorio Microbiología |

Las firmas indicadas en cada informe solo corresponden a los análisis solicitados y a los laboratorios que intervienen en su ejecución.

Firma Recibido

|        |       |
|--------|-------|
| _____  | _____ |
| Nombre | Fecha |



**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**Centro de Investigación en Nutrición Animal**

Teléfono (506) 2511-2049 ó (506)2511-2055. Fax: 2234-2415  
 Ciudad de la investigación, Sabánilla, San José, Costa Rica



|                                     |                                 |                          |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Código: R-TE-18                     | <b>INFORME DE ENSAYO</b>        | Fecha de Emisión:        |
| Versión: 4                          |                                 | 29-05-2012               |
| INFORMACIÓN GENERAL DE LA SOLICITUD |                                 |                          |
| Consecutivo                         | Fecha de recepción de muestras: | Tipo de cliente:         |
| GE-2594                             | 02-12-2014 13:42:04             | Exonerado                |
| INFORMACIÓN GENERAL DEL CLIENTE     |                                 |                          |
| Nombre: Dirección CINA              |                                 |                          |
| Teléfono:                           | Fax:                            | Correo Electrónico:      |
| 2511-2056                           | 2234-2415                       | augusto.rojas@ucr.ac.cr  |
|                                     |                                 | Nombre Solicitante:      |
|                                     |                                 | Luis Alejandro Rodríguez |

|   |                          |
|---|--------------------------|
| INFORMACIÓN GENERAL DE LA(S) MUESTRA(S)                 |                          |
| Tipo de muestra:  | Banano verde             |
| Nombre o descripción del producto:                      | Banano verde             |
| Presentación de la muestra:                             | bolsa plástica           |
| Fecha de toma de la muestra(s):                         | 1-12-14                  |
| Proceso de elaboración:                                 | fresco                   |
| Parte de la planta/animal que compone:                  | fruto entero con cáscara |
| Procedencia Geográfica:                                 | Limón-Pococi-Guápiles    |
| Importado de:   |                          |
| Elaborado por:  | na                       |
| Forma de muestreo utilizada: muestreo compuesto al azar |                          |

-El muestreo es responsabilidad del cliente y los resultados en este informe se refieren únicamente a las muestras ensayadas.

-Los resultados químicos se reportan utilizando un factor de cobertura  $k=2$  y una probabilidad de cobertura de 95% y corresponde al método de ensayo utilizado. La incertidumbre se expresa de forma relativa o como intervalos de confianza y reflejan la precisión del mesurando. Para el análisis de energía bruta, el factor de conversión es 4,184 J/cal. El método de *Escherichia coli* por NMP detecta las cepas indol positivas (95 %).

-Documento no válido sin firmas originales y sello blanco del Centro de Investigaciones en Nutrición Animal. Cualquier copia parcial de este documento invalida los resultados presentados en él.

-Se conserva una muestra de respaldo por 3 meses, excepto para las muestras con ensayos microbiológicos.

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS**

Acreditados=Verde  
 No Acreditados=Negro  
 Página # 1  
 Contrato # GE-2594



Quando aplique resultados en base fresca y seca, se indica el primero en base fresca y entre parétesis cuadrados en base seca

| Identificación Muestra | Laboratorio          | Análisis Solicitados  | Resultados                              |
|------------------------|----------------------|---|---|
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Humedad a 60 °C (Materia Seca a 60 °C)<br>Adapt. Goering y Van Soest. Forage Analysis, ARS/USDA | (81,2 (18,77)±0,5 (0,13))g/100 g        |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Humedad 135 °C<br>[AOAC 930.15]   | (82,09± 0,91)g/100g                     |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Magnesio<br>[AOAC 975.03, AOAC 985.35]  | (221,72± 0,02)mg/kg<br>[1 238,66]mg/kg  |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Fósforo<br>[AOAC 965.17, AOAC 986.24]   | (204,37± 16,54)mg/kg<br>[1 141,73]mg/kg |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Sodio<br>[AOAC 985.35]  | (11,00± 0,04)mg/kg<br>[61,45]mg/kg      |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Potasio<br>[AOAC 985.35, AOAC 975.03]   | (0,43± 0,04)g/100g<br>[2,40]g/100g      |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Hierro<br>[AOAC 968.08, AOAC 975.03]  | (35,51± 16,65)mg/kg<br>[198,38]mg/kg    |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Zinc<br>[AOAC 968.08, AOAC 975.03]  | (1,93± 0,79)mg/kg<br>[10,78]mg/kg       |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Manganeso<br>[AOAC 968.08, AOAC 975.03]   | (2,88±0,38)mg/kg<br>[16,09]mg/kg        |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Calcio<br>[AOAC 975.03, AOAC 968.08]  | (100,85± 1,11)mg/kg<br>[619,27]mg/kg    |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Cenizas<br>[AOAC 942.05]  | (1,12± 0,04)g/100 g<br>[6,26]g/100 g    |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Cobre<br>[AOAC 975.03, AOAC 968.08]   | (0,88± 0,06)mg/kg<br>[4,92]mg/kg        |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Cobalto<br>Analyst 1990, 115, 1323-1328   | (No detectado )mg/kg                    |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Selenio<br>[AOAC 996.17]  | (No determinado )µg/kg                  |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Molibdeno<br>Communications in soil science   | (0,81± 0,04)mg/kg<br>[4,52]mg/kg        |
| Banano verde           | Química<br>GE-2594-1 | Yodo<br>J Ass Ofic Anal Chem 54:760-763   | (10,66± 0,53)mg/kg<br>[59,6]mg/kg       |

Firmas Responsables

|   |   |                                      |                                       |
|---|---|--------------------------------------|---------------------------------------|
|  |  | _____                                | _____                                 |
| Responsable Laboratorio Química   | Ingeniero(a) Agrónomo Zootecnista Responsable                                     | Responsable Laboratorio Bromatología | Responsable Laboratorio Microbiología |

Las firmas indicadas en cada informe solo corresponden a los análisis solicitados y a los laboratorios que intervienen en su ejecución.

Firma Recibido

|        |       |
|--------|-------|
| _____  | _____ |
| Nombre | Fecha |

## ANEXO 2. Correlaciones entre las variables zoométricas y el peso

Cuadro A - 1. Matriz de correlaciones fenotípicas entre el peso y variables zoométricas obtenidas en el estudio<sup>a</sup>.

|      |                   | CT    | AG    | AC    | ANC   | ANI   | LL    | LC    | IP     | IA     | IC     | IPT    |
|------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Peso | r <sup>b</sup>    | 0,776 | 0,398 | 0,328 | 0,756 | 0,364 | 0,419 | 0,434 | -0,186 | 0,648  | 0,866  | 0,574  |
|      | sig. <sup>c</sup> | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,008  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| CT   | r                 |       | 0,302 | 0,254 | 0,664 | 0,283 | 0,376 | 0,373 | -0,178 | 0,902  | 0,717  | 0,532  |
|      | sig.              |       | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,011  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| AG   | r                 |       |       | 0,603 | 0,315 | 0,472 | 0,340 | 0,327 | 0,076  | 0,038  | 0,233  | -0,039 |
|      | sig.              |       |       | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,282  | 0,586  | 0,001  | 0,582  |
| AC   | r                 |       |       |       | 0,341 | 0,397 | 0,281 | 0,240 | 0,416  | -0,186 | 0,088  | -0,245 |
|      | sig.              |       |       |       | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000  | 0,008  | 0,212  | 0,000  |
| ANC  | r                 |       |       |       |       | 0,399 | 0,392 | 0,366 | -0,117 | 0,526  | 0,660  | 0,826  |
|      | sig.              |       |       |       |       | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,096  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| ANI  | r                 |       |       |       |       |       | 0,329 | 0,261 | 0,008  | 0,113  | 0,273  | 0,177  |
|      | sig.              |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,000 | 0,909  | 0,109  | 0,000  | 0,011  |
| LL   | r                 |       |       |       |       |       |       | 0,361 | -0,160 | 0,252  | 0,391  | 0,241  |
|      | sig.              |       |       |       |       |       |       | 0,000 | 0,022  | 0,000  | 0,000  | 0,001  |
| LC   | r                 |       |       |       |       |       |       |       | -0,779 | 0,271  | 0,363  | 0,235  |
|      | sig.              |       |       |       |       |       |       |       | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  |
| IP   | r                 |       |       |       |       |       |       |       |        | -0,363 | -0,278 | -0,370 |
|      | sig.              |       |       |       |       |       |       |       |        | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| IA   | r                 |       |       |       |       |       |       |       |        |        | 0,689  | 0,651  |
|      | sig.              |       |       |       |       |       |       |       |        |        | 0,000  | 0,000  |
| IC   | r                 |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        | 0,628  |
|      | sig.              |       |       |       |       |       |       |       |        |        |        | 0,000  |

<sup>a</sup> Todas las correlaciones fueron calculadas controlando el efecto del tiempo de medición (correlaciones parciales). <sup>b</sup> Índice de Correlación. <sup>c</sup> Significancia (valor-p) de la correlación.