

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EFECTO DE LA SUPLEMENTACION CON FOSFORO Y COBRE
SOBRE LA FERTILIDAD EN GANADO BOVINO DE CARNE

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa Conjunto
de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la
Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de
Investigación y Enseñanza, para obtener el grado de

Magister Scientiae

HECTOR E. CARRILLO LARIOS


Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
Programa de Producción Animal
Turrialba, Costa Rica

1980

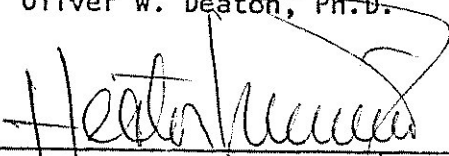
Esta tesis ha sido aceptada en su forma presente por la
Comisión de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto UCR-CATIE,
como requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiae

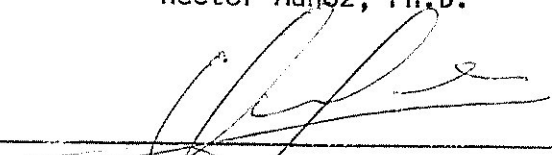
JURADO:


_____ Profesor Consejero

Oliver W. Deaton, Ph.D.


_____ Miembro del Comité

Héctor Muñoz, Ph.D.


_____ Miembro del Comité

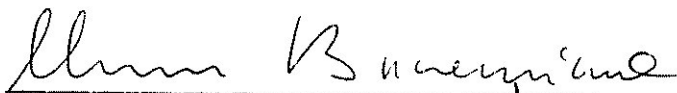
Benjamín Quijandría, Ph.D.


_____ Miembro del Comité

Roberto Díaz-Romeu, M.S.



Coordinador del Programa de Estudios de Posgrado
en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales



Coordinador del Sistema de Estudios de Posgrado
de la Universidad de Costa Rica



Héctor Carrillo Laríos
Candidato

DEDICADA

A MI FAMILIA

Y

A MIS AMIGOS

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

Al Dr. Oliver W. Deaton, por su valiosa orientación, como maestro, como amigo y como Profesor Consejero.

A los doctores Héctor Muñoz y Benjamín Quijandría, y al Ing. Roberto Díaz-Romeu, miembros del Comité Consejero.

Al personal docente del CATIE, especialmente del Programa de Producción Animal.

Al personal de los Laboratorios LAQUINSA, principalmente al Sr. Danilo Montero, por la preparación del compuesto de cobre utilizado.

A la familia Rojas-López y al Sr. Juan Pérez, propietaria y empleado de la Finca "Bremen", respectivamente; así como al equipo de vaqueros.

Al personal del Laboratorio de la Escuela de Zootecnia, Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, en especial a la Ingra. María Ester Lee y a los señores Guido Gómez y Romilio Gutiérrez por su colaboración en los análisis de suero sanguíneo.

A la Srta. Patricia Hernández, por su colaboración en la preparación mecanográfica.

Al Ing. Víctor Quiroga y Sr. Manuel Zamora, por su participación en el procesamiento de datos.

Al personal de secretaría del Programa de Producción Animal, espe-

cialmente a las señoras Carmen de Aguilar, Martha de French, Amiel de Herrera y las señoritas Cecilia Orozco y Guiselle Alvarado; así como al personal de secretaría del Programa de Estudios de Posgrado, señoras Lorena de Murillo y Felicia de Cisneros, quienes se merecen aprecio y agradecimiento.

Al Gobierno de Holanda y Ministro de Agricultura de Guatemala, por el apoyo brindado durante la realización de sus estudios de Posgrado.

BIOGRAFIA

El autor nació en San Agustín Ac., El Progreso, Guatemala, Centro América.

Realizó sus estudios en la Escuela Nacional de Agricultura de Guatemala, donde obtuvo el título de Perito Agrónomo en 1965.

De 1965 a 1970 trabajó para el Ministerio de Agricultura, en el Departamento de Zootecnia, Pastos y Forrajes. En 1971 ingresó a la Escuela de Zootecnia, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de San Carlos de Guatemala y se graduó en junio de 1976, con el grado de Licenciado Zootecnista.

Actualmente trabaja para el Instituto Técnico de Agricultura de Guatemala.

Ingresó al Programa de Producción Animal del Sistema de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto entre la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, en julio de 1977, donde realizó^z sus estudios de posgrado obteniendo el título de *Magister Scientiae* en enero de 1980.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	2
1. Reproducción.....	2
2. Cobre.....	3
2.1 Requerimientos y síntomas de deficiencia de cobre.....	4
2.2 Regiones deficientes en cobre.....	4
2.3 Suplementación, fuentes y vías de adminis- tración de cobre.....	5
3. Fósforo.....	6
3.1 Requerimientos y síntomas de deficiencia de fósforo.....	7
3.2 Regiones deficientes en fósforo.....	8
3.3 Suplementación, fuentes y vías de adminis- tración de fósforo.....	9
III. MATERIALES Y METODOS.....	11
1. Localización.....	11
2. Material experimental.....	11
2.1 Animales y potreros.....	11
2.2 Fuentes de cobre y fósforo utilizadas.....	12
3. Tratamientos estudiados.....	13
4. Manejo de los animales durante el experimento.....	14

	<u>Página</u>
5. Parámetros estudiados.....	14
5.1 Porcentaje de preñez.....	14
5.2 Contenido de cobre y fósforo en el suero sanguíneo.....	15
5.3 Contenido de cobre y fósforo en el pasto...	15
5.4 Contenido de cobre y fósforo en el suelo...	16
6. Análisis de la información.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	19
1. Porcentajes de preñez.....	19
2. Concentración de cobre y fósforo en el suero sanguíneo.....	24
2.1 Concentración de cobre.....	24
2.2 Concentración de fósforo.....	27
3. Concentración de cobre y fósforo en el pasto....	31
3.1 Concentración de cobre.....	31
3.2 Concentración de fósforo.....	33
4. Concentración de cobre y fósforo en el suelo.....	34
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	37
Conclusiones.....	37
Recomendaciones.....	37
VI. RESUMEN.....	38

	<u>Página</u>
VII. SUMMARY.....	40
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	42
IX. APENDICE.....	53

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro No.</u>	<u>Página</u>	
1.	Número de vacas preñadas en cada réplica según tratamiento con cobre y fósforo.....	20
2.	Porcentajes de preñez por tratamiento de suplementación con cobre y fósforo.....	21
3.	Promedios de concentración de cobre (en ppm) en suero sanguíneo, en cada nivel de suplementación de cobre, por muestreo y porcentaje de cambio.....	27
4.	Promedios de concentración de fósforo (en mg/100 ml) en suero sanguíneo, dentro de cada nivel de suplementación de fósforo, por muestreo y porcentaje de cambio.....	29
5.	Concentración promedio de cobre y fósforo en suero sanguíneo de vacas preñadas y vacías.....	30
6.	Composición química promedio del pasto en el muestreo inicial.....	31
7.	Composición química promedio del pasto en el muestreo final.....	32
8.	Promedios de concentración de cobre y fósforo en el suelo, por réplica y por muestreo.....	34
9.	Relación entre porcentaje de preñez y concentración de cobre y fósforo en suero sanguíneo, pasto y suelo.....	36
APENDICE		
1A.	Análisis de varianza para porcentajes de preñez.....	54
2A.	Concentración de cobre (en ppm) en suero sanguíneo, promedio por tratamiento y por réplica, en el muestreo inicial.....	55

<u>Cuadro No.</u>	<u>Página</u>
3A. Concentración de cobre en (ppm) en suero sanguíneo, promedio por tratamiento y por réplica, en el muestreo final.....	56
4A Promedios de concentración de cobre (en ppm) en el suero sanguíneo, por tratamiento, por réplica, por muestreo y porcentaje de cambio.....	57
5A. Concentración de fósforo (en mg/100 ml) en suero sanguíneo, promedio por tratamiento y por réplica, en el muestreo inicial.....	58
6A. Concentración de fósforo en el suero sanguíneo (en mg/100 ml) promedio por tratamiento y por réplica, en el muestreo final.....	59
7A. Promedios de concentración de fósforo en el suero sanguíneo, por tratamiento, por réplica, por muestreo y porcentaje de cambio.....	60
8A. Análisis de varianza para concentraciones de cobre y fósforo en suero sanguíneo.....	61
9A. Análisis de varianza para concentración de cobre y fósforo en el pasto.....	62
10A. Análisis de varianza para concentración de cobre y fósforo en el suelo.....	63
11A. Composición química del pasto, promedio por repetición y por muestreo.....	64
12A. Concentración de cobre y fósforo en el suelo promedios por repetición y por muestreo.....	65

I. INTRODUCCION

La productividad de los bovinos de carne está estrechamente ligada con el número y peso de los terneros nacidos y destetados por vaca expuesta a toro, por año. En varias regiones del mundo, como es el caso de los trópicos latinoamericanos, la producción animal se ve afectada, entre otras causas, por la baja tasa reproductiva observada en la mayoría de los hatos, especialmente en aquellos manejados en forma extensiva. La reproducción del ganado bovino es influenciada por factores de tipo genético, como la raza, y ambientales, como la nutrición, sanidad y manejo. Dentro del aspecto nutricional la energía, la proteína y el agua tienen mucha importancia; además, los minerales esenciales son necesarios para el adecuado desarrollo físico de los animales. Actualmente se sabe que son varios los elementos esenciales en la nutrición animal; pero se ha dado énfasis al cobre y al fósforo, en vista que se ha comprobado deficiencia de éstos en varias regiones de Latinoamérica y del mundo. La deficiencia de cobre y fósforo, y de hecho, la de otros minerales, causan trastornos fisiológicos en los bovinos que afectan la reproducción, los cuales ocasionan pérdidas en los hatos, desde el punto de vista biológico y económico.

Con base en estos antecedentes se planeó el presente estudio, con el objetivo siguiente:

Cuantificar la respuesta de la suplementación parenteral de cobre y fósforo, y su interacción, en bovinos de carne, con el propósito de encontrar una solución práctica que contribuya a mejorar la fertilidad del ganado bovino de carne.

II. REVISION DE LITERATURA

1. REPRODUCCION

La eficiencia reproductiva de un hato de ganado bovino lechero o de carne bajo condiciones de empadre contínuo, puede estimarse a través de diversas medidas (48) entre las que se consideran, el intervalo entre el parto y el primer celo (104) el cual puede variar con la raza (5, 15, 18, 77) plan nutricional (13, 69) largo de la lactancia (20, 88, 92, 93, 109) y la edad y el peso de la vaca. El intervalo entre partos constituye una medida eficaz para estimar la eficiencia reproductiva de un hato; sin embargo, ésta también es afectada por factores de tipo ambiental, como la calidad y disponibilidad de alimento y el manejo de los animales, así como por factores genéticos, tales como la raza; los cuales ocasionan alteraciones en las funciones reproductivas de los bovinos (53). Prolongados intervalos entre partos reducen la productividad del ganado bovino en los trópicos. Según Schmidt y Van Vleck (91) un intervalo entre partos de 12 meses es considerado como "ideal" en vacas lecheras. Sin embargo, en vacas Hereford manejadas en confinamiento, se ha logrado intervalos entre partos de 11,9 meses (106), pero, tanto en ganado de carne como lechero, manejado bajo condiciones de pastoreo, sobrepasan dicho valor; por razones de carácter ambiental (72) o genéticos (13, 15, 87).

Es evidente que el régimen alimenticio al que estén sometidas las vacas después del parto, es determinante para la iniciación de los ciclos estruales. Corah et al (26) encontraron diferencias entre vacas alimen-

tadas con dietas altas y bajas en energía; observaron que un 41 por ciento de las vacas alimentadas con dieta alta, mostraron celo dentro de los 40 días después del parto, en comparación con 26 por ciento de las alimentadas con dieta baja en energía. Resultados similares encontraron Dunn et al (38). También se ha comprobado que la raza del toro tiene cierta influencia sobre los porcentajes de preñez (82); así como sobre el período de gestación (46, 52, 67, 79).

2. COBRE

El cobre forma parte del citocromo "a", así como de las enzimas tirosinasa, ácido ascórbico oxidasa, monoamino oxidasa plasmática y uricasa; las cuales tienen cobre en su estructura y su actividad depende de este elemento (98). El cobre está presente en el suero sanguíneo formando parte de un complejo cobre-proteína, cuya actividad es proporcional al contenido de cobre (cerca de 0,35%); y es inhibida por sustancias que inhiben a las enzimas que dependen del cobre (50, 98).

Se ha demostrado que el cobre juega un papel importante en la formación y crecimiento de los huesos; en bovinos y ovinos deficientes se ha observado osteoporosis, fracturas espontáneas y raquitismo en animales jóvenes (24). También se ha estudiado la participación del cobre en la reproducción de los bovinos (94). Engel et al (39) indican que existe la posibilidad de que ocurra un incremento en los requerimientos de cobre en bovinos durante la reproducción, principalmente en la gestación (84).

2.1 Requerimientos y síntomas de deficiencia de cobre

El ganado de carne, en general, debe consumir alrededor de cuatro miligramos de cobre por kilogramo de materia seca de alimento, cuando la dieta contiene niveles bajos de molibdeno y sulfatos; pero sus requerimientos pueden incrementarse hasta dos o tres veces, cuando los niveles de molibdeno y sulfato son altos (75). No obstante, niveles altos de cobre pueden causar la muerte de los animales por intoxicación, dentro de un período relativamente corto (25, 28, 70, 71, 102).

Los principales síntomas de acuprosis bovina consisten en apetito depravado (pica), pérdida de condición física, crecimiento lento, pelo áspero, anemia y diarrea. También ocurren despigmentación y caída del pelo, rigidez de las articulaciones, principalmente del tren posterior y muerte súbita de los animales (24, 56, 75). Además, puede ocurrir supresión del estro y un período de esterilidad temporal, en el que los terneros que llegan a nacer presentan una marcada desnutrición y alcanzan poca alzada (90). Niveles inferiores o similares a 25 miligramos por kilogramo de hígado, en base seca, pueden considerarse como críticos y que indican deficiencia de cobre en bovinos (73).

2.2 Regiones deficientes en cobre

Se ha encontrado deficiencia de cobre en varias regiones de Latinoamérica (2, 3) especialmente en ganado manejado a base de pastoreo. Esta deficiencia se ha determinado mediante el análisis de diferentes

tejidos animales (6, 7, 8, 9, 22, 30, 78, 80, 85) y se considera que puede ser consecuencia del bajo contenido de cobre en el suelo y en el forraje (10, 59, 71); pero también puede deberse a la presencia de altos niveles de molibdeno (34, 51, 97, 100) y a la presencia de hierro y sulfato, además del molibdeno (44, 48, 96, 105). No obstante, el cobre es necesario para la utilización biológica del hierro (68), pero, el molibdeno y el azufre bloquean el metabolismo del cobre (27, 32, 49, 105). Otro factor que influye en el metabolismo del cobre es la deficiencia en la síntesis de ceruloplasmina (71), enzima que participa en el metabolismo de este elemento.

Según McDowell y Conrad (73) y De Alba y Davis (2) se han encontrado áreas deficientes en cobre en Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Guyana, Haití, México, Panamá, Perú, Surinam y Uruguay.

2.3 Suplementación, fuentes y vías de administración de cobre

Se han realizado varios estudios sobre suplementación de cobre, particularmente en bovinos y ovinos en pastoreo, para mejorar ganancias de peso (66, 86) usando diferentes fuentes de cobre y vías de administración (3, 29, 35, 36, 37, 45, 58, 79). Webb et al (108) lograron incrementos de peso de cinco por ciento superiores, en bovinos jóvenes inyectados con cobre; así como una mejor condición física que en los animales no suplementados. Mac Pherson y Hemingway (66) suplementaron ovejas con proteína y cobre, y observaron que la administración de 10 miligramos de este elemento por animal, por día, incrementó leve-

mente las ganancias de peso de los animales alimentados con dietas, alta y baja en proteína. Hewetson y Bremner (47) inyectaron 120 miligramos de cobre, a intervalos de tres meses, a vacas con bajas reservas de este elemento en el hígado (14 ppm) y observaron que el nivel se incrementó de 14 hasta 105 ppm, mientras que en las vacas no tratadas disminuyó de 13 hasta 11 ppm, después de cuatro meses. Fearn y Habel (40) lograron controlar la deficiencia y mantener el nivel normal de cobre en ovejas, mediante la administración de 45 miligramos de cobre, en tres inyecciones por año. Anke (9) administró 2,2 miligramos de cobre, por día, a terneros con niveles bajos en este elemento y encontró que mostraron síntomas de deficiencia a los 70 días de edad, pero que la administración de 7,7 miligramos de cobre por animal, por día, fue suficiente para cubrir sus requerimientos.

También se han realizado estudios con el propósito de determinar la influencia del cobre sobre la reproducción de bovinos y ovinos en pastoreo. Engel et al (39) alimentaron a novillas lecheras con raciones que contenían desde cinco hasta 28 ppm de cobre, sobre base seca del alimento. Observaron que los animales suplementados realizaron su primer parto a los 26 meses de edad, mientras que las vaquillas del grupo control parieron a los 28 meses.

3. FOSFORO

No está bien definida la participación del fósforo en el metabolismo animal; sin embargo, Salisbury y Van Demark (90) consideran que debido a la posición clave del fósforo en la transferencia y utili-

zación de la energía en el organismo animal, la deficiencia de este elemento es más evidente que la de otros. Asimismo, se estima que el fósforo participa en los procesos reproductivos del ganado bovino (57). Monrrow (74) al estudiar problemas de infertilidad en novillas lecheras, observó que una de las causas de sus bajas tasas reproductivas consistía en la deficiencia de fósforo, en vista que con la suplementación de este elemento, logró disminuir desde 3,7 hasta 1,3 el número de servicios por concepción.

3.1 Requerimientos y síntomas de deficiencia de fósforo

De acuerdo con las recomendaciones del NRC (75) los requerimientos de fósforo para vacas de carne de 380 Kg de peso, paridas, están alrededor de 20,4 gramos diarios. Según De Alba y Davis (2) y Black et al (17) el forraje que consume el ganado en pastoreo, debe contener como mínimo 1,3 gramos de fósforo, por kilogramo de materia seca, para cubrir los requerimientos diarios de los animales. De Alba y Davis (2) sugieren que el mínimo recomendable de ingestión de fósforo, oscila entre 0,13 y 0,18 por ciento de materia seca del alimento, para animales adultos y 0,30 por ciento para animales recién destetados.

La mayoría de autores (2, 24, 60, 61, 88, 103) coinciden en que el fósforo es uno de los nutrientes minerales que se encuentra deficiente en animales bajo pastoreo. Los principales síntomas clínicos de deficiencia consisten en apetito depravado (pica), pelo áspero e infertilidad (74); también se reducen, la ganancia de peso, la producción de

leche y la utilización de los alimentos. Además, ocurren cambios óseos, al extremo de presentarse fracturas frecuentes (75). Según Little (64) el principal síntoma de afosforosis en ganado bovino en pastoreo, es la disminución en el consumo voluntario. Sin embargo, también se manifiestan síntomas de deficiencia, cuando hay una combinación inadecuada de fósforo y proteína (61, 81). Según Comar y Bronner (23) se ha mencionado en muchos trabajos, que los bajos consumos de fósforo conllevan a un deterioro general del animal, acompañado de descalcificación y raquitismo. Mientras que la suplementación con este elemento reduce la mortalidad, incrementa la fertilidad y se obtienen terneros más saludables. Niveles iguales o inferiores a 4,5 mg/100 ml de suero sanguíneo, se consideran valores críticos que indican deficiencia de fósforo (73).

3.2 Regiones deficientes en fósforo

Entre los elementos esenciales para la nutrición animal, el fósforo es uno de los más deficientes en muchas regiones del mundo (2, 73). Se han encontrado niveles bajos de fósforo en pastos de regiones semiáridas, los cuales están asociados con la deficiencia de este elemento en el suelo (75). No obstante, en regiones de trópico húmedo, también se han encontrado valores bajos en los niveles de fósforo de los forrajes (59) y en el suero sanguíneo de bovinos (78). Existen varias regiones de Latinoamérica deficientes en fósforo (2, 73) así como en otras regiones del mundo (17, 62, 79). Esta deficiencia se ha determinado mediante el análisis de diferentes tejidos animales (55, 62,

63, 78) y vegetales (10, 59). También se ha establecido, que altos niveles de hierro en raciones de bovinos, ocasionan un incremento del fósforo en el suero sanguíneo de los animales (97) pero que la excreción de fósforo, principalmente por la orina depende directamente del consumo que hagan diariamente los animales de este mineral (19). Además, la presencia de azufre dificulta el almacenamiento del fósforo en el hígado (42).

Entre los países con áreas deficientes en fósforo figuran: Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Puerto Rico, Surinam, Uruguay y Venezuela (2, 73).

3.3 Suplementación, fuentes y vías de administración de fósforo

Se han llevado a cabo varias investigaciones sobre suplementación de fósforo, especialmente en bovinos y ovinos en pastoreo, con el propósito de evaluar su efecto sobre aspectos de ganancia de peso (17, 81) y comportamiento reproductivo (61, 81, 88) usando diferentes fuentes (4, 11, 76, 77, 107, 110) y vías de administración (17, 19, 60, 88). Long et al (65) suplementaron novillos Hereford con raciones bajas de fósforo (0,07 - 0,09%) para determinar su influencia sobre la nutrición. Observaron que el consumo de alimento, la ganancia de peso y el nivel de fósforo en el suero sanguíneo se incrementaron en forma lineal, de acuerdo con las cantidades de fósforo suplementadas. Rowlands et al (89) al estudiar la relación entre la fertilidad y la composición sanguínea de vacas lecheras, observaron

que, en promedio, las vacas con una concentración de 6,1 miligramos de fósforo por 100 mililitros de suero sanguíneo, sólo necesitaron un servicio por preñez; mientras que aquellas con una concentración de 5,9 miligramos necesitaron hasta tres servicios.

Little (61) suplementó con fósforo y proteína a vacas Brahman cruzadas, en época seca. Observó que las vacas suplementadas con fósforo más proteína, mostraron los más cortos intervalos entre el parto y el primer celo, así como el mayor porcentaje de hembras en celo (100%) a las ocho y 12 semanas después del parto en comparación con 38 por ciento de las vacas del grupo control. Ríos (88) suplementó con fósforo a vacas Brahman en pastoreo, en forma oral y a través de la fertilización de la pradera, durante un período de tres años. Observó que la suplementación con fósforo elevó los porcentajes de preñez en 11 por ciento en las vacas suplementadas a través del pasto; mientras que en las suplementadas en forma directa el incremento fue de cinco por ciento. En un trabajo de suplementación mineral a bovinos de carne, realizado por CIAT (21) en Carimagua, Colombia; administraron a las vacas una mezcla mineral que contenía de 7,0 a 7,5 por ciento de fósforo. Encontraron que la suplementación mineral incrementó en 29 por ciento la tasa de parición, en vacas que pastaban en la sabana nativa. Los autores sostienen que la deficiencia mineral, principalmente la de fósforo, constituye el principal factor limitante de la reproducción del ganado bovino, en los llanos orientales de Colombia.

III. MATERIALES Y METODOS

1. LOCALIZACION

El experimento se llevó a cabo en la Finca "Bremen", propiedad de la familia Rojas-López. Está situada en el Cantón de Pococí, Provincia de Limón, Costa Rica. Se encuentra a una altitud de 230 msnm, con una temperatura promedio de 25°C y una precipitación promedio anual de 4000 mm. Los meses más secos son enero, febrero y marzo y el más lluvioso, diciembre (81).

Según Pérez et al (83) los suelos de esta Finca corresponden al orden inceptisoles; de color oscuro, profundos, con baja saturación de bases, derivados de cenizas volcánicas y con algunos problemas de drenaje en terrenos planos.

2. MATERIAL EXPERIMENTAL

2.1 Animales y potreros

Para el desarrollo del presente estudio se utilizaron 192 vacas, encastadas a Brahman y algunas media sangre Brahman-Charolais; todas de primer parto y con un peso promedio de 380 kilogramos. Los animales se seleccionaron dentro de dos lotes de aproximadamente 100 vacas cada uno. Cada uno de los lotes permaneció en pastoreo en áreas separadas, localizadas en dos diferentes sitios de la Finca, durante todo el período experimental. Cada lote constituyó una réplica del experimento, y la distribución de tratamientos se realizó al azar, dentro

de cada uno de ellos.

Las dos áreas en que se manejaron dichos lotes están constituidas por cuatro potreros, cuyas superficies oscilan entre 12 y 25 hectáreas, en cada réplica. La mayoría de los potreros están cubiertos por pastos naturales, aunque algunos tienen entre 30 y 60 por ciento de pasto San Juan (Setarea anceps, Stapf.) (43). Entre los pastos naturales predomina el género Paspalum y las especies más comunes son P. conjugatum, P. dilatatum y P. notatum.

2.2 Fuentes de cobre y fósforo utilizadas

Como fuente de cobre se utilizó sulfato de cobre (CuSO_4) más propilén glicol y agua, en las proporciones siguientes:

	%
Sulfato de cobre	3
Propilén glicol	89
Agua	8

Los porcentajes arriba indicados están expresados en peso por volumen.

Se usó sulfato de cobre por ser la fuente más fácil de conseguir en el mercado local y porque ha sido utilizado en otros estudios, como fuente de cobre, en la suplementación de bovinos y ovinos, principalmente como glicinato de cobre, por vía parenteral (29, 37, 45, 47, 58) sin causar daño en los tejidos animales. También se ha utilizado en suplementación oral (3, 28, 35) sin ocasionar problemas de intoxi-

cación, a menos que se usen niveles muy altos (56).

Como fuente de fósforo se utilizó un preparado a base de la sal sódica del ácido 4-dimetilamino-2-metilfenilfosfínico (20% de fósforo inorgánico).

3. TRATAMIENTOS ESTUDIADOS

Los niveles de los elementos estudiados y su distribución en los 12 tratamientos correspondientes, se describen a continuación:

P_0C_0	P_1C_0	P_2C_0	P_3C_0
P_0C_1	P_1C_1	P_2C_1	P_3C_1
P_0C_2	P_1C_2	P_2C_2	P_3C_2

donde:

P_0 = Grupo control

P_1 = 10 ml, equivalente a 1,4 g de fósforo inorgánico

P_2 = 20 ml, equivalente a 2,8 g de fósforo inorgánico

P_3 = 30 ml, equivalente a 4,2 g de fósforo inorgánico

C_0 = Grupo control

C_1 = cinco ml, equivalente a 150 mg de cobre

C_2 = 10 ml, equivalente a 300 mg de cobre

De acuerdo con la distribución de las unidades experimentales, a cada tratamiento le correspondieron 16 animales, ocho en cada repetición.

4. MANEJO DE LOS ANIMALES DURANTE EL EXPERIMENTO

El estudio se inició el 4 de abril de 1979 y finalizó el 17 de octubre del mismo año. El manejo consistió en la aplicación intramuscular de las dosis de cobre y fósforo, de acuerdo con el sorteo de tratamientos previamente realizado y la extracción de una muestra de sangre a cada animal. A cada tratamiento se le designó un símbolo y cada vaca tratada se le identificó con una marca de fuego, de acuerdo con el tratamiento que le correspondió. Para la aplicación de los tratamientos, así como la extracción de la muestra de sangre, se usaron las instalaciones y equipo de la Finca.

Inmediatamente después de realizar esta actividad, los lotes completos regresaron a sus correspondientes potreros y se inició el período de empadre. La proporción de vacas por toro utilizada en esta Finca es de 20:1.

Ambos lotes de vacas incluidos en este estudio, se mantuvieron bajo similares condiciones de manejo y alimentación durante el período experimental y no recibieron ninguna suplementación aparte de la correspondiente a los tratamientos que se estudiaron.

5. PARAMETROS ESTUDIADOS

5.1 Porcentaje de preñez

El número de vacas preñadas dentro de cada tratamiento se determinó mediante la práctica de palpación rectal, la cual se realizó tres meses después de concluido el período de empadre.

5.2 Contenido de cobre y fósforo en suero sanguíneo

Se tomó una muestra de sangre a cada animal, por punción yagular, al inicio y al final del estudio. Las muestras se colectaron en tubos plásticos, sin anticoagulante, y debidamente identificados se transportaron al laboratorio. Las determinaciones de cobre y fósforo se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica y por colorimetría, respectivamente, siguiendo la metodología descrita por Fick et al (41). Dichos análisis se realizaron en los laboratorios de Agrostología, de la Escuela de Zootecnia, de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de Costa Rica.

5.3 Contenido de cobre y fósforo en el pasto

Con el propósito de determinar las concentraciones de cobre y fósforo en el forraje que consumieron los animales bajo estudio, se realizaron dos muestreos al azar, en cada potrero y en cada réplica. Los muestreos se realizaron el 15 de abril y el 5 de septiembre de 1979. El muestreo y el análisis de los pastos se hicieron por separado en cada réplica, con la finalidad de determinar si existe diferencia entre las áreas de pastoreo, con respecto de las concentraciones de los elementos en estudio.

El número de muestras analizadas fue de 18 y 34; y 22 y 33, en las réplicas I y II y muestreos inicial y final, respectivamente. Las determinaciones de cobre y fósforo se realizaron por espectrofotometría de absorción atómica y por colorimetría, respectivamente; de

acuerdo con la metodología descrita por Johnson y Ulrich (54).

Además de las determinaciones de cobre y fósforo en el pasto, se determinaron también, el contenido de proteína cruda y el porcentaje y digestibilidad de la materia seca. El porcentaje de materia seca se determinó mediante el secado de las muestras, en un horno con circulación de aire caliente, por un período de 48 horas. El porcentaje de proteína cruda se determinó por el Método de Micro Kjeldahl, descrito por Bateman (14); y la determinación de la digestibilidad de la materia seca, se realizó con base en la metodología propuesta por Tilley y Terry (101). El análisis proximal y la determinación de la digestibilidad de los pastos, se realizaron en los Laboratorios del Programa de Producción Animal del CATIE.

5.4 Contenido de cobre y fósforo en el suelo

Con la finalidad de estimar las concentraciones de cobre y fósforo en el suelo, se efectuaron dos muestreos en los potreros de ambas repeticiones en las mismas fechas en que se muestrearon los pastos. Se obtuvieron 25 y 26 muestras, en cada muestreo, en las repeticiones I y II, respectivamente. Cada muestra es representativa de 15 a 20 submuestras, dependiendo de la topografía del terreno y del color y tipo de suelo. Las muestras se tomaron a 15 centímetros de profundidad. La determinación de cobre se hizo por espectrofotometría de absorción atómica y la del fósforo por colorimetría, de acuerdo con la metodología descrita por Díaz-Romeu y Hunter (31). Los análisis de suelo para la determinación de cobre y fósforo se realizaron en los Laborato-

rios de Análisis de Suelos y Tejido Vegetal del CATIE.

6. ANALISIS DE LA INFORMACION

Para determinar el efecto de los niveles de cobre y fósforo sobre los porcentajes de preñez se utilizó el modelo matemático siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + C_i + P_j + CP_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Una observación k , en porcentaje de preñez, promedio de ocho vacas, del nivel de cobre i , en el nivel de fósforo j

μ = Media general

C_i = Efecto debido al tratamiento cobre

P_j = Efecto debido al tratamiento fósforo

CP_{ij} = Efecto debido a la interacción cobre-fósforo

ϵ_{ijk} = Efecto debido a factores no incluidos en el modelo

Para el análisis de las concentraciones de cobre y fósforo en el suero sanguíneo se utilizó el modelo matemático siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + C_j + P_k + CP_{jk} + \epsilon_{ijkl}$$

donde:

Y_{ijkl} = Una observación individual l , de concentración de cobre o fósforo, en el bloque i , del nivel de cobre j , en el nivel de fósforo k .

μ = Media general

- β_i = Efecto de bloque (lote)
 C_j = Efecto debido al tratamiento cobre
 P_k = Efecto debido al tratamiento fósforo
 CP_{jk} = Efecto debido a la interacción cobre-fósforo
 ϵ_{ijkl} = Efecto debido a factores no incluidos en el modelo

El análisis de la concentración de cobre y fósforo en el pasto y en el suelo, se realizó mediante un análisis de varianza de clasificación jerárquica, con el modelo matemático siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + R_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Una observación k , de la repetición j , (aérea de potreros), en la fecha de muestreo i

μ = Media general

T_i = Efecto debido al período de tiempo i , transcurrido entre ambos muestreos

R_{ij} = Efecto de la repetición j (aérea de potreros), en la fecha de muestreo i

ϵ_{ijk} = Efecto debido a factores no incluidos en el modelo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

1. PORCENTAJES DE PREÑEZ

En los cuadros 1 y 2 se presentan los resultados sobre número y porcentajes de preñez registrados en los diferentes niveles de cobre y fósforo.

Al observar estos valores puede apreciarse que la respuesta de los grupos de vacas suplementadas con fósforo, mostraron mayores porcentajes de preñez que el obtenido por el grupo testigo. Las diferencias en preñez, registradas en los tres niveles de fósforo estudiados, comparados con el testigo son, nueve, 21 y 21 por ciento, en los niveles uno, dos y tres, respectivamente. Los resultados observados en el presente estudio, revelan la influencia del fósforo sobre la fertilidad del ganado bovino, lo cual ha sido observado por otros autores (57, 74).

Las ventajas de la suplementación con fósforo, medida como porcentajes de preñez, obtenidas en el presente estudio, son superiores a las encontradas por Ríos (88), quien observó diferencias de 11 y cinco por ciento de preñez, en vacas Brahman suplementadas con fósforo, a través de la pradera y oral, respectivamente, en comparación con las no suplementadas. No obstante, éstos son inferiores a los observados por CIAT (21), en Colombia, donde lograron un incremento de 29 por ciento de gestación, al suplementar con una mezcla mineral que contenía de 7,0 a 7,5 por ciento de fósforo, a vacas en pastoreo. También han

Cuadro 1. Número de vacas preñadas en cada réplica, según tratamiento con cobre y fósforo.

Niveles de Fósforo	Niveles de Cobre						Sub-totales	n
	0		1		2			
	R-I	R-II	R-I	R-II	R-I	R-II		
0	4	4	5	6	4	5	28	48
1	6	5	5	6	4	6	32	48
2	7	7	7	7	5	5	36	48
3	6	8	5	7	6	6	38	48
Sub-totales	23	24	22	26	19	22	136	
	n = 64		n = 64		n = 64			N = 192

N = Número total de vacas expuestas

n = Número de vacas expuestas dentro de niveles

Dentro de cada tratamiento n = 8 por réplica (R)

Número de vacas preñadas en R-I = 64; R-II = 72

Cuadro 2. Porcentajes de preñez por tratamiento de suplementación con cobre y fósforo.

Niveles de Fósforo	Niveles de Cobre			Sub-totales	
	0	1	2	\bar{X}	n
	%	%	%		
0	50	69	56	58	48
1	69	69	63	67	48
2	88	88	63	79	48
3	88	75	75	79	48
Sub- totales	$\bar{X} = 73$ n = 64	$\bar{X} = 75$ n = 64	$\bar{X} = 64$ n = 64	$\bar{X} = 71$	N = 192

N = Número total de vacas expuestas

n = Número de vacas expuestas dentro de niveles

Dentro de cada tratamiento $n = 2 \times 8 = 16$ vacas

\bar{X}_{R-I} = 67 por ciento

\bar{X}_{R-II} = 75 por ciento

R = Réplica

sido encontrados resultados satisfactorios por otros investigadores (23, 61) del efecto del fósforo sobre reproducción y sobre ganancias de peso (17, 65, 107), en ganado bovino, manejado bajo condiciones de pastoreo.

La tendencia de los porcentajes de preñez observados, como respuesta a la suplementación con fósforo (cuadro 2) es ascendente, de acuerdo con los niveles estudiados, especialmente en el lote II. En la respuesta de las vacas del lote I, se observa un leve descenso en los porcentajes de preñez, a partir del nivel de suplementación dos. No obstante, la respuesta combinada de ambos lotes muestra una tendencia ascendente en los porcentajes de preñez, a medida que se incrementa el nivel de suplementación de fósforo.

El análisis de varianza (cuadro 1A) acusó diferencia altamente significativa ($p \leq 0,01$) en el efecto de niveles de fósforo sobre el porcentaje de preñez. No se encontró diferencia estadística en el efecto de los niveles de cobre, ni en la interacción cobre-fósforo, sobre los porcentajes de preñez.

La prueba de rangos múltiples de Duncan mostró diferencia significativa ($p \leq 0,05$) entre los porcentajes de preñez registrados en los grupos suplementados con fósforo vs. el grupo testigo.

La respuesta a la suplementación de fósforo, expresada en porcentajes de preñez, observada en el presente estudio, es satisfactoria, especialmente por tratarse de vacas de primer parto, que van al segundo.

El efecto de la suplementación de cobre en los porcentajes de preñez observados, sólo el nivel uno (150 mg de cobre) mostró efecto positivo en dos y 11 por ciento de preñez, comparado con el testigo y

con el nivel dos de suplementación (300 mg de cobre) respectivamente.

La razón que explicaría la ausencia del efecto de los niveles de cobre, podría ser porque las dosis administradas fueron bajas, y que sólo se aplicó al inicio del experimento. No obstante, las dosis aplicadas son similares a las probadas por otros investigadores (45, 47, 70); y se ha comprobado que el efecto del cobre, administrado por vía parenteral; puede mantenerse hasta por cinco meses (45). También se considera que los bovinos incrementan sus requerimientos de cobre durante la reproducción (39).

Estos resultados son similares a los encontrados por Engel (39), quien suplementó con diferentes niveles de cobre a novillas Holstein y no observó diferencias en su comportamiento reproductivo. Sin embargo, la ausencia del efecto del cobre sobre la preñez, observada en este estudio, podría deberse a factores de tipo antagónico entre el cobre y el molibdeno (33, 34, 51, 97, 100) y/o a la presencia de hierro y azufre (44, 48, 96, 105), que también bloquean el aprovechamiento del cobre en el organismo animal. No obstante, se ha comprobado la efectiva contribución del cobre sobre las ganancias de peso, hasta de cinco por ciento, en animales suplementados con cobre, comparados con los no tratados (108).

No se encontró diferencia significativa, en el efecto de la interacción cobre-fósforo, lo cual pone de manifiesto que la acción del fósforo sobre la preñez no fue interferida por el nivel de cobre, y

que la respuesta animal a los niveles de fósforo, fue independiente en cada nivel de cobre. La diferencia encontrada entre réplicas, podría ser explicada por efectos de carácter ambiental, tales como la disponibilidad y composición química, digestibilidad y valor nutritivo del forraje.

2. CONCENTRACION DE COBRE Y FOSFORO EN SUERO SANGUINEO

2.1 Concentración de cobre

Al observar los valores promedio de concentración de cobre en el suero sanguíneo (cuadro 2A), puede apreciarse que hay poca variabilidad entre éstos, dentro de cada tratamiento. El promedio del grupo testigo muestra una ligera superioridad en la concentración de cobre (0,05 y 0,09 ppm) en comparación con las concentraciones de los animales correspondientes a los otros tratamientos. Asimismo, puede notarse que la variabilidad existente entre repeticiones (lotes) es también leve, en relación con la diferencia entre sus promedios; en el nivel cero, es de 0,12, en el nivel uno de 0,06 y de 0,02 ppm en el nivel dos. Las diferencias encontradas entre réplicas (lotes) podrían atribuirse a las diferencias existentes en el contenido de cobre en el suelo y el pasto (cuadros 5, 6 y 7). No obstante, las concentraciones de cobre en el suero sanguíneo difieren con el estado fisiológico y la edad de los animales (1, 16, 85, 95).

Al comparar los valores de concentración de cobre entre los individuos de ambos lotes, puede observarse que en los animales del

grupo correspondiente al nivel uno su promedio es más alto (0,04 y 0,06 ppm) que los promedios de los tratamientos cero y dos, respectivamente.

Los valores encontrados en concentración de cobre, promedio de todos los animales incluidos en el estudio, en el muestreo inicial, son inferiores que los encontrados por otros autores (55, 78). Según Beck (16) los valores de concentración de cobre en sangre de bovinos oscila entre 0,7 y 1,7 ppm, pero Adams y Haag (1) encontraron valores desde 0,072 hasta 1,570 ppm, en suero sanguíneo de bovinos en pastoreo, sin suplementación.

Al observar los resultados del análisis del suero sanguíneo del muestreo final (cuadro 3A) puede notarse que al igual que en el muestreo inicial, los valores de concentración de cobre en los animales del lote II, son más altos que los del lote I. Las concentraciones de cobre de ambos lotes presentan menos variabilidad que en el muestreo inicial; puede observarse también, que las vacas del grupo que recibió el nivel uno de suplementación de cobre (150 mg) mantuvo la más alta concentración.

Al comparar los valores de concentración de cobre en el suero sanguíneo de ambos lotes, en los muestreos inicial y final (cuadro 4A) puede notarse que los valores en el muestreo final son más altos. Esta diferencia podría ser explicada en parte, por efecto residual de la administración de cobre (45). En vista que la concentración de cobre en el pasto fue mayor en el muestreo final, era de esperar que los resultados del análisis del suero sanguíneo acusaran con-

centraciones más altas en el muestreo final, pero ocurrió lo contrario. Esto podría deberse a la presencia de factores antagónicos que obstaculizan la absorción y aprovechamiento del cobre (34, 44, 48, 51, 96, 97, 100, 105).

En el cuadro 3 se presentan los valores promedio de concentración de cobre, por tratamiento, por lote y por muestreo, así como el cambio ocurrido, expresado en porcentaje. Este porcentaje de cambio se calculó considerando el promedio de concentración, al comparar ambos muestreos. Al observar estos resultados, puede apreciarse que hubo una variabilidad considerable entre los porcentajes de cambio; sin embargo, los cambios fueron positivos en los tres niveles de suplementación de cobre estudiados. Por lo tanto dicho cambio podría considerarse como un efecto residual de la aplicación de cobre. No obstante, es interesante que los animales suplementados con el nivel más alto mostraron un leve incremento, menor incluso que el observado en los individuos del grupo testigo.

Cuadro 3. Promedios de concentración de cobre (en ppm) en suero sanguíneo, en cada nivel de suplementación de cobre, por muestreo y porcentaje de cambio.

Nivel de Cobre	Muestreo inicial			Muestreo final			Cambio %
	R-I	R-II	R-I+R-II	R-I	R-II	R-I+R-II	
0	0,59	0,48	0,54	0,53	0,68	0,61	+13
1	0,55	0,61	0,58	0,64	0,75	0,70	+21
2	0,51	0,53	0,52	0,49	0,65	0,57	+10
$\bar{X} =$	0,55	0,54	0,55	0,55	0,69	0,63	+14

En cada nivel de cobre $n = 4 \times 8 = 32$ vacas por réplica (R).

El análisis de varianza para comparar niveles de concentración de cobre en el suero sanguíneo, (cuadro 8A) mostró diferencia significativa ($P \leq 0,05$) en el efecto de los niveles de fósforo. No se encontró diferencia entre bloques, entre niveles de cobre ni en la interacción cobre-fósforo.

2.2 Concentración de fósforo

Los promedios de concentración de fósforo, en el muestreo inicial, (cuadro 5A) oscilan entre 5,5 y 7,2 mg/100 ml de suero sanguíneo. Sin embargo, las concentraciones individuales mostraron mayor

variabilidad (desde 2,79 hasta 11,56 mg/100 ml de suero). Esto es normal en muestras con pocas observaciones, debido a que las concentraciones de minerales en el suero sanguíneo y otros tejidos de los bovinos, varían entre individuos por factores como, tipo y nivel de producción, edad, concentración y forma química de los minerales en los alimentos, así como su relación con otros elementos (12). Al observar los promedios de ambas repeticiones (lotes) combinadas, se aprecia que los grupos que recibieron suplementación de fósforo mostraron cierta variabilidad. El grupo que presentó el promedio más alto fue el grupo suplementado con el nivel dos (2,8 g). El grupo suplementado con el nivel uno (1,4 g) es el que muestra menos variabilidad. El promedio general de los niveles de fósforo en el suero sanguíneo (6,6 mg/100 ml) no está muy próximo al nivel crítico (73, 99).

En el muestreo final (cuadro 6A) también se observó variabilidad entre los valores de concentración, sin embargo, ésta fue relativamente baja dentro de tratamientos y aún menor entre réplicas (lotes).

El promedio general de concentración de fósforo en suero sanguíneo, en el muestreo final, (4,8 mg/100 ml) está cercano al nivel crítico, el cual se ha estimado en 4,5 mg/100 ml de suero sanguíneo (73, 99).

Todos los promedios de concentración de fósforo plasmático, observados en los cuatro grupos de vacas incluidos en el estudio, experimentaron cambios negativos (cuadro 4) al comparar los promedios observados en el muestreo final vs. los del inicial. Este cambio podría ser explicado por la fuga diaria que sufre este elemento, a través de la lactan-

cia, heces y orina (19, 73). Obviamente, la cantidad de fósforo perdida, por estas vías, varía de acuerdo con el nivel de producción (73) y la cantidad de fósforo ingerida o administrada (19). Sin embargo, los valores encontrados en este ensayo son más altos que los encontrados por Kiatoko et al (55) en suero sanguíneo de bovinos en San Carlos, Costa Rica y similares a los encontrados por Oliveira (78) en la región Norte de Mato Grosso, Brasil.

Cuadro 4. Promedios de concentración de fósforo (en mg/100 ml) en suero sanguíneo, dentro de cada nivel de suplementación de fósforo, por muestreo y porcentaje de cambio.

Nivel de Fósforo	Muestreo inicial			Muestreo final			Cambio %
	R-I	R-II	R-I+R-II	R-I	R-II	R-I+R-II	
0	6,5	6,7	6,6	5,2	4,4	4,8	-27
1	6,5	6,7	6,6	5,3	4,4	4,9	-27
2	6,6	7,0	6,8	5,2	4,7	5,0	-27
3	6,3	6,7	6,5	5,0	4,3	4,7	-28
	$\bar{X} = 6,5$	6,8	6,6	5,2	4,5	4,8	-27

En cada nivel de fósforo $n = 3 \times 8 = 24$ vacas por réplica (R).

El análisis de varianza (cuadro 8A) mostró diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$) en el efecto de niveles de fósforo y significativa ($P \leq 0,05$) entre niveles de cobre, en el muestreo final. No se encontró diferencia estadística entre réplicas (lotes) ni en el efecto de la interacción cobre-fósforo.

En el cuadro 5 se presentan los valores promedio de concentración de cobre y fósforo, encontrados en el suero sanguíneo de vacas preñadas y vacías.

Cuadro 5. Concentración promedio de cobre y fósforo en suero sanguíneo de vacas preñadas y vacías

	Cobre ppm	Fósforo mg/100 ml
Preñadas	0,64±0,4	4,87±0,8
Vacías	0,58±0,4	4,74±0,9

Vacas preñadas n = 136

Vacas vacías n = 56

De acuerdo con estos valores, puede observarse que prácticamente no existe diferencia entre la concentración de cobre (0,06 ppm) ni de fósforo (0,13 mg/100 ml) en el suero sanguíneo de las vacas preñadas vs. vacías, diferencias que no son estadísticamente significativas. Aunque la concentración de fósforo en las vacas preñadas es más alta, ésta no es lo suficientemente clara como para considerarse que ambas variables están relacionadas.

3. CONCENTRACION DE COBRE Y FOSFORO EN EL PASTO

3.1 Concentración de cobre

Los resultados de los análisis químicos del pasto correspondientes al muestreo inicial, se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Composición química promedio del pasto en el muestreo inicial.

Componente	R-I	R-II	R-I+II
Materia seca (%)	22,06	24,00	23,03
Proteína cruda (%)	8,54	8,69	8,61
Digestibilidad de la MS (%)	39,25	45,09	42,17
Concentración de cobre (ppm)	26,00	23,85	24,92
Concentración de fósforo (%)	0,12	0,12	0,12

R = Repetición (aérea de potreros).

De acuerdo con estos resultados puede observarse que existe cierta diferencia entre los valores promedio de los componentes, entre una repetición y la otra. El contenido de materia seca, la digestibilidad y la proteína son ligeramente más altos en la repetición II. En el contenido de fósforo no hay diferencia; sin embargo, el contenido de cobre es ligeramente más alto en la repetición I (2 ppm). El promedio de ambas repeticiones fue de 25 ppm, el cual se considera normal (75).

Cuadro 7. Composición química promedio del pasto en el muestreo final.

Componente	R-I	R-II	R-I+II
Materia seca (%)	28,1	29,3	28,7
Proteína cruda (%)	9,2	8,8	9,0
Concentración de cobre (ppm)	34,0	35,2	34,6
Concentración de fósforo (%)	0,10	0,10	0,10

R = Repetición (aérea de potreros).

De acuerdo con los resultados mostrados en el cuadro 7, puede notarse que los niveles de concentración de cobre muestran una leve diferencia entre repeticiones. Al comparar los promedios de concentración de cobre entre muestreos, se observa que en el muestreo final es 9,7 ppm más alto que en el inicial. Estos promedios de concentración de cobre son considerablemente más altos que los encontrados por Lebdoecojo (59), quien encontró concentraciones desde 1,5 hasta 2,0 ppm y desde 2,4 hasta 3,0 ppm, en pasto natural y Calingüero (Melinis minutiflora), respectivamente.

El análisis de varianza (cuadro 9A) para comparar concentraciones de cobre en el pasto, acusó diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$) entre fechas de muestreo. No se encontró diferencia estadística entre réplicas (aérea de potreros).

3.2 Concentración de fósforo

Los valores de concentración de fósforo en el pasto, tanto en el muestreo inicial, como en el final (cuadros 6 y 7) son inferiores a los niveles considerados como normales (2,17) por lo que los pastos existentes en los potreros utilizados en el presente estudio, son deficientes en este elemento. Los valores encontrados en este estudio son inferiores que los observados por Lebdoecojo (59), quien encontró niveles desde 0,10 hasta 0,15 por ciento en pastos nativos; y desde 0,17 hasta 0,24 por ciento en pasto Calingüero (Melinis minutiflora).

El análisis de varianza (cuadro 9A) no registró diferencia estadística entre fechas de muestreo ni entre réplicas.

Al comparar la composición química del pasto entre los muestreos inicial y final (cuadros 6 y 7) puede observarse que los componentes en el muestreo final, son más altos, exceptuando el nivel de concentración de fósforo. Además, si se analizan los cuadros 3 y 4, puede observarse que los porcentajes de cambio en los niveles de concentración de cobre y fósforo en el suero sanguíneo, guardan cierta relación con los cambios registrados en las concentraciones de estos elementos en el forraje.

4. CONCENTRACION DE COBRE Y FOSFORO EN EL SUELO

En el cuadro 8 se presentan los valores promedio de las concentraciones de cobre y fósforo en el suelo, en los muestreos inicial y final.

Cuadro 8. Promedios de concentración de cobre y fósforo en el suelo, por réplica y por muestreo.

Elemento	Muestreo inicial			Muestreo final		
	R-I	R-II	R-I+II	R-I	R-II	R-I+II
Cobre ($\mu\text{g/ml}$)	12,5	7,0	9,7	16,7	8,7	12,7
Fósforo ($\mu\text{g/ml}$)	2,4	2,7	2,6	5,0	3,3	4,1

R = Repetición (área de potreros).

Al observar estos resultados puede notarse que en el muestreo inicial, la concentración de cobre de la réplica I es casi el doble que en la réplica II. En los niveles de fósforo sucede lo contrario, en vista que en la réplica II la concentración de fósforo es ligeramente más alta que en la réplica I.

En el muestreo final, la réplica I mostró el doble en la concentración de cobre, en comparación con la réplica II. Los valores de los niveles de fósforo se invierten en este muestreo, en vista que en la réplica I es relativamente más alto que en la repetición II. Los promedios de concentración de fósforo en las repeticiones I y II, en ambos muestreos se consideran bajos (12).

El análisis de varianza (cuadro 9A) no mostró diferencia estadística entre fechas de muestreo ni entre repeticiones.

En el cuadro 9 se presentan los valores promedio de concentración de cobre y fósforo encontrados en el suelo, pasto y suero sanguíneo y los porcentajes de preñez obtenidos en el presente estudio.

Cuadro 9. Relación entre porcentaje de preñez y concentración de cobre y fósforo en suero sanguíneo, pasto y suelo.

Lote	Preñez %	Concentración de cobre y fósforo					
		Suero		Pasto		Suelo	
		cobre	fósforo	cobre	fósforo	cobre	fósforo
		ppm	%	ppm	%	µg/100 ml	µg/100 ml
I	67	0,55	5,2	34,0	0,10	16,7	5,0
II	75	0,70	4,5	35,2	0,10	8,7	3,3

De acuerdo con los resultados del cuadro 9, no se observa relación entre los porcentajes de preñez con las concentraciones de cobre y fósforo en suero sanguíneo, pasto y suelo. A pesar de observarse cierta relación entre la concentración de fósforo en el suelo con la concentración de éste en el suero, ésta no ofrece una clara relación entre el porcentaje de preñez y dicha concentración. Sin embargo, la diferencia observada entre los porcentajes de preñez de ambos lotes, puede deberse a que el lote II consumió mejor pasto durante el período experimental (cuadros 6 y 7) a pesar que en el muestreo final, la repetición I muestra una ligera superioridad en porcentaje de proteína.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio, se llegó a las conclusiones siguientes:

1. Es factible mejorar la fertilidad del ganado bovino de carne, manejado en pasturas deficientes en fósforo, con la suplementación parenteral de este elemento, pero no con la de cobre.
2. No se considera ventajoso relacionar las concentraciones de cobre y fósforo del suero sanguíneo, pasto y suelo, con los porcentajes de preñez.

RECOMENDACIONES

1. Suplementar con fósforo en el nivel de 2,4 gramos o más, por vía parenteral, a vacas en pastoreo al inicio del período de empadre.
2. Probar niveles más altos de suplementación de fósforo, en investigaciones posteriores, para establecer la máxima respuesta animal, en porcentajes de preñez.
3. Utilizar niveles más altos de suplementación de cobre, en estudios posteriores, e indagar sobre la presencia de factores que intervengan en el aprovechamiento del cobre por parte del pasto y del animal.

VI. RESUMEN

El presente estudio se realizó en la Finca "Bremen", propiedad de la familia Rojas-López, localizada en el Cantón de Pococí, Provincia de Limón, Costa Rica.

Se utilizaron 192 vacas lactantes, de primer parto, encastadas a Brahman, con un peso promedio de 380 Kg y manejadas bajo pastoreo. Se suplementaron con niveles de cero, 150 y 300 mg de cobre; y con 1,4, 2,8 y 4,2 g de fósforo. El objetivo fue estudiar su efecto sobre la reproducción. Ambos elementos fueron administrados por vía parenteral, al inicio del ensayo. Además, se determinaron los niveles de concentración de cobre y fósforo en suero sanguíneo, pasto y suelo.

Los porcentajes de preñez observados fueron de 73, 75 y 64, en los niveles cero, 150 y 300 mg de suplementación de cobre, respectivamente; y de 58 68, 79 y 79, en los niveles cero, 1,4, 2,8 y 4,2 g de suplementación de fósforo, respectivamente.

Los promedios de concentración de cobre en suero sanguíneo fueron de 0,54, 0,58 y 0,52 y de 0,62, 0,69 y 0,59 ppm, en los niveles de suplementación cero, 150 y 300 mg de cobre y muestreos inicial y final, respectivamente. Las concentraciones de fósforo observadas fueron de 6,6, 6,6, 6,8 y 6,5; y de 4,8, 4,9, 5,0 y 4,7 mg/100 ml de suero sanguíneo, en los niveles de suplementación cero, 1,4, 2,8 y 4,2 g y muestreos inicial y final, respectivamente.

En el pasto se encontraron concentraciones de 24,9 ppm y de 0,12 por ciento; y de 34,6 ppm y 0,10 por ciento de cobre y fósforo, en los

muestreos inicial y final, respectivamente.

En el suelo se encontraron concentraciones de 9,7 y 2,6 y de 12,7 y 4,1 $\mu\text{g/ml}$ de cobre y fósforo, en los muestreos inicial y final, respectivamente.

Se observó efecto altamente significativo ($P \leq 0,01$) de los niveles de fósforo, sobre el porcentaje de preñez. La prueba de rangos múltiples de Duncan mostró diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre los grupos suplementados con fósforo y el control.

El análisis de varianza para concentraciones de cobre en suero sanguíneo mostró efecto significativo ($P \leq 0,05$) de los niveles de fósforo, pero no de los de cobre.

En los niveles de concentración de fósforo en el suero se encontró diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre concentraciones de cobre y altamente significativa ($P \leq 0,01$) entre niveles de fósforo.

En niveles de concentración de cobre en el pasto se encontró diferencia altamente significativa ($P \leq 0,01$) entre fechas de muestreo. No se encontró diferencia significativa entre concentraciones de fósforo, ni entre las de cobre.

No se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de cobre ni entre las de fósforo en el suelo.

Se concluye que, en este tipo de animales y bajo las condiciones ambientales en que se realizó el experimento, el fósforo es un factor determinante en la reproducción de los bovinos. Y además, que los suelos y los pastos son deficientes en este elemento.

VII. SUMMARY

The present study was carried out at a private farm, located in Pococí, Limón, Costa Rica.

A total of 192 first calf lactating cows were used. Animals were crossbred Brahman, with an average body weight of 380 kg, and managed under pasture conditions. Three levels of copper (0, 150 and 300 mg) and four levels of phosphorus (0, 1.4, 2.8 and 4.2 g) were supplemented in order to assess the influence on reproduction. A total of 12 treatments were applied, resulting from the factorial combination of the two variables. Each treatment was injected once via parenteral at the beginning of the study.

Blood concentrations of copper and phosphorus were determined twice, once at the beginning and once at the end of the experiment. Pasture and soil concentration of both elements were also determined during two different occasions during the experiment.

The percentage of pregnancies of the different levels of supplementation were 73, 75 and 64 for 0, 150 and 300 mg of copper; and 58, 68, 79 and 79 for 0, 1.4, 2.8 and 4.2 g of phosphorus, respectively.

Blood serum copper concentrations were 0.54, 0.58 and 0.52 ppm at the beginning of the experiment; and 0.62, 0.69 and 0.59 at the end of the experiment, for 0, 150 and 300 mg of copper, respectively. Similarly, blood serum concentrations of phosphorus were 6.6, 6.6, 6.8 and 6.5; and 4.8, 4.9, 5.0 and 4.7 mg/100 ml of serum for 0, 1.4, 2.8 and 4.2 g of phosphorus at initial and final sampling respectively.

Pasture concentrations of copper and phosphorus were 24.9 ppm and 0.12 percent, and 34.6 ppm and 0.10 percent for the initial and final sampling respectively. Soil concentrations were 9.9 and 2.6; and 12.7 and 4.1 of copper and phosphorus, respectively, all in terms of $\mu\text{g/ml}$, during each sampling.

The analysis of variance for copper concentrations in the blood serum indicated that treatments with varying phosphorus levels differed significantly ($P \leq 0.05$) whereas no differences due to copper treatments were noted.

The analysis of phosphorus serum levels differed significantly ($P \leq 0.05$) between copper concentration treatments and highly significantly ($P \leq 0.01$) between levels of phosphorus treatments.

Copper concentration in pasture was significantly different between samples, tending to increase towards the end of the study. No differences between samples were found in phosphorus concentration in pasture. It was also found that the concentration of both elements in the soil remained practically constant during the study.

It is concluded that with this type of animal and under the conditions that this experiment was carried out, phosphorus is an important factor influencing reproduction performance. It is also concluded that both soil and forage are phosphorus deficient.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. ADAMS, S. W. y HAAG, J. R. Copper contents of citrated whole blood and plasma of cattle. *Journal of Nutrition* 63(4):585-590. 1957.
2. ALBA DE, J. y DAVIS, G. K. Minerales en la nutrición animal en la América Latina. *Turrialba* 7(1-2):16-30. 1957.
3. ANMERMAN, C. B. Recent developments in cobalt and copper in ruminant nutrition: a review. Symposium: Trace minerals. *Journal of Dairy Science* 53(8):1099-1107. 1969.
4. _____, FORBES, R. M., GARRIGUS, U.S., NEWMANN, A. L., NORTON, H. W. y HATFIELD, E.E. Ruminant utilization of inorganic phosphates. *Journal of Animal Science* 16(4):796-810. 1957.
5. ANDERSON, J. L. Breeding problems in cattle in Papua and New Guinea. *Australian Veterinary Journal* 37(1):162. 1961. (Correspondence).
6. ANKE, M. Mineral and trace element content of cattle hair as indicator of the nutritional state of Ca, Mg, P, K, Na, Zn, Mn, Cu, Mo and Co. *Arch Tierernähr* 16(1):57-75. 1966. Compendiado en *Biological Abstracts* 47:9344. 1966.
7. _____. Mineral and trace element content of cattle hair as indicator of Ca, Mg, P, K, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo and Co nutrition. I. Cleaning of hair. *Arch Tierernähr* 15(6):461-468. 1965. Compendiado en *Biological Abstracts* 47:7906. 1966.
8. _____. Mineral and trace element content of cattle hair as indicator of Ca, Mg, P, K, Na, Fe, Zn, Mn, Cu, Mo and Co nutrition. II. Relationship to cutting depth, hair type, hair color, hair age, animal age, lactation state and pregnancy. *Tierernähr* 15(6):469-485. 1965. Compendiado en *Biological Abstracts* 47:7906. 1966.
9. _____. Mineral and trace element content of cattle hair as indicator of supply calcium, magnesium, phosphorus, potassium, sodium, iron, zinc, manganese, copper, molybdenum and cobalt. *Arch Tierernähr* 16(2/3):199-213. 1966. Compendiado en *Biological Abstracts* 48:311. 1967.

10. _____. Mineral and trace element content of cattle hair as indicator of calcium, magnesium, phosphorus, potassium, sodium, iron, zinc, manganese, copper, molybdenum and cobalt nutrition. V. The mineral supply of dairy cows on soils of various geographical origin measured by the mineral content of black cattle cover hair and of red clover. Arch Tierernähr 17(1/2):1-26. 1967. Compendiado en Biological Abstracts 48:9093. 1967.
11. ARRINGTON, L. R., OUTLER, J. C., AMMERMAN, C. B. y DAVIS, G. K. Absorption, retention and tissue deposition of labeled inorganic phosphates by cattle. Journal of Animal Science 22(4): 940-942. 1963.
12. BAHIA, G. V. y ADAMS, M. Técnicas de muestras de suelos y análisis. In McDowell, L. R. y Conrad, J. H. Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los rumiantes en pastoreo. Gainesville, Fla. 1978. pp 98-105.
13. BAKER, A. A. Post-partum anoestrus in cattle. Australian Veterinary Journal 45(4):180-183. 1969.
14. BATEMÁN, J. Nutrición animal. Manual de métodos analíticos. Herrero, México. 1970. 468 p.
15. BAZAN, O. A. Diagnóstico del comportamiento reproductivo del ganado de carne en fincas de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 47 p.
16. BECK, A. B. The copper content of the liver and blood of some vertebrates. Australian Journal of Zoology 4(1):1-18. 1956.
17. BLACK, W. H., TASH, L. H., JONES, J. M. y KLEBEGR, R. J. Comparison of methods of supplying phosphorus to range cattle. US Department of Agriculture. Technical Bulletin 981. 1949. 22 p.
18. BUCH, N. C., TYLER, W. J. y CASIDA, L. E. Post-partum estrus and involution of the uterus in an experimental herd of Holstein-Friesian cows. Journal of Dairy Science 38(1):73-79. 1955.
19. CALL, J. W., BUTCHER, J. E., BLAKE, J. T., SMART, R. A. y SHUPE, J. L. Phosphorus influence on growth and reproduction of beef cattle. Journal of Animal Science 47(1):216-225. 1978.

20. CARDONA, C. Efecto de la edad de destete sobre el comportamiento reproductivo de ganado de carne. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA-CATEI. 1972. 57 p.
21. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Informe anual 1977, Programa de ganado de carne. Manejo de ganado. Cali, Colombia. 1978. pp A-1 - A-124.
22. CLAYPOOL, D. W., ADAMS, F. W., PENDELL, H. W., MARTMAN, N. A. y BONE, J. F. Relationship between the level of copper in the blood plasma and liver of cattle. *Journal of Animal Science* 41(3):911-914. 1975.
23. COMMAR, C. L. y BRONNER, F. Mineral metabolism. An advanced treatise. v. 2. The elements, Part A. Academic Press. New York and London. 1964. 649 p.
24. _____. Mineral metabolism. An advanced treatise. v. 2. The elements, Part B. Academic Press, New York and London. 1962. 623 p.
25. COOK, G. A., LESPERANCE, A. L., BOHMAN, V. R. y HENSEN, E. H. Interrelationship of molybdenum and certain factors to the development of the molybdenum toxicity syndrome. *Journal of Animal Science* 25(1):96-101. 1966.
26. CORAH, L. R., DUNN, T. G. y KALTENBACH, C. C. Influence of pre-partum nutrition on the reproductive performance of beef females and the performance of their progeny. *Journal of Animal Science* 41(3):819-824. 1975.
27. CUNNINGHAM, I. J., HOGAN, K. G. y LAWSON, B. M. The effect of sulphate and molybdenum on copper metabolism in cattle. *New Zeland Journal of Agricultural Research* 2(1):145-152. 1959.
28. CHAPMAN, H. L., NELSON, S. L., KIDDER, R. W., SIPPEL, W. L. y KIDDER, C. W. Toxicity of cupric sulfate for beef cattle. *Journal of Animal Science* 21(4):960-962. 1962.
29. _____. y BELL, M. C. Relative absorption and excretion by beef cattle of copper from various sources. *Journal of Animal Science* 22(1):82-85. 1963.

30. CHAUVAUX, G., LOHBA, F., FUMIERE, I. y BIENFET, V. Copper and manganese in cattle, methods of determination and biological significance of copper and manganese in hair. *Année Veterinaire* 109(3):174-226. 1965. Compendiado en *Biological Abstracts* 47:5423. 1966.
31. DIAZ-ROMEY, R. y HUNTER, A. Metodología de muestreo y análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 1978. 62 p.
32. DICK, A. T. The effect of diet and of molybdenum on copper metabolism in sheep. *Australian Veterinary Journal* 28(2):30-33. 1952.
33. _____. The control of copper storage in the liver of sheep by inorganic sulphate and molybdenum. *Australian Veterinary Journal* 29:233-239. 1953.
34. DOWDY, R. P. y MATRONE, G. Copper-molybdenum interaction in sheep and chicks. *Journal of Nutrition* 95(2):191-196. 1968.
35. DREOSTI, I. E. y QUICKE, G. V. Blood copper as an indicator of copper status with a note on serum proteins and leucocyte counts in copper deficient rats. *The British Journal of Nutrition* 22(1):1-7. 1968.
36. DUNKLEY, W. L., FRANKE, A. A. y ROHNING, H. Relation of estrus to natural copper and tocopherol in milk and susceptibility of milk to oxidized flavor. *Journal of Dairy Science* 47(7):818-820. 1964.
37. _____, ROHNING, H. y VOTH, J. Influence of injection of cows with copper glycinate on blood and milk copper and oxidized flavor in milk. *Journal of Animal Science* 40(10):1059-1063. 1963.
38. DUNKI, T. C., INGALLS, J. E., ZIMMERMAN, D. R. y WILT BANK, J. N. Reproductive performance of 2-year-old Hereford and Angus heifers as influenced by pre- and post-calving energy intake. *Journal of Animal Science* 29(5):719-726. 1969.
39. ENGEL, R. W., HARDISON, W. A., MILLER, R. F., PRICE, M. O. y HUBER, J. T. Effect of copper intake on concentration in body tissue and on growth, reproduction and production in dairy cattle. *Journal of Animal Science* 23(4):1160-1163. 1964.

40. FEARH, J. T. y HABEL, J. D. Parenteral copper therapy for sheep in South Australia. *Australian Veterinary Journal* 37(1):224-226. 1961.
41. FICK, K. R., HILLER, SARAH. H., FUNK, J. D., MCDOWELL, L. R., HOUSER, R. H. y VALDIVIA, R. Métodos de análisis de minerales para tejidos de plantas y animales. Gainesville, Fla. 1976. 86 p.
42. GOODRICH, R. D. y TILLMAN, A. D. Copper, sulfate and molybdenum interrelationships in sheep. *Journal of Nutrition* 90(1): 76-80. 1966.
43. HACKER, J. B. y JONES, R. J. The *Setaria sphacelata* complex-A Review. *Tropical Grasslands* 3(1):13-34. 1969.
44. HARTMANS, J. y VAN DER GRIFF, J. The effect of the sulphur content in the feed on the copper status of cattle. Mededel Inst Biol Scheikunding Onderz Landbouwgewassen 235/256. 145-155. 1964. Compendiado en *Biological Abstracts* 46:8391. 1965.
45. HARVEY, J. H. y SUTHERLAND, A. K. Parenteral copper therapy in ruminants. *Australian Veterinary Journal* 29:261-268. 1953.
46. HERNANDEZ, A., RAMOS, C. y QUINTERO, M. Reproducción y fertilidad. In PLASSE, D. y SALOM, R. (eds). *Ganadería de Carne en Venezuela*. El Cojo, Caracas. 1969. pp 173-203.
47. HEWETSON, R. W. y BREMMER, K. C. Observations in the administration of copper. *Australian Veterinary Journal* 38(1): 570-574. 1962.
48. HOGAN, K. G., HONEY, D. F. y BLAYNEY, A. The effect of molybdate and sulphate supplement on the accumulation of copper in the livers of penned sheep. *New Zeland Agriculture Research* 11(2):435-444. 1968.
49. _____, RIS, D. R. y HUTCHINSON, A. J. An attempt to produce copper deficiency in sheep by dosing molybdate and sulphate. *New Zeland Journal of Agriculture Research* 9(1):691-698. 1966.
50. HOLUH, J. R. Principios de fisicoquímica, química orgánica y bioquímica. Trad. del Inglés por Hortensia Crona Rodríguez. Limusa. México. 1975. 792 p.

51. HUBER, J. T., PRICE, H. O. y ENGEL, R. V. Response of lactating dairy cows to high levels of dietary molybdenum. *Journal of Animal Science* 32(2):364-367. 1971.
52. JAFAR, S. M., CHAPMAN, A. B. y CASIDIA, L. E. Causes of variation in length of gestation in dairy cattle. *Journal of Animal Science* 9(2):593-601. 1950.
53. JOHANSSON, I. y RENDEL, J. *Genética y mejora animal*. Trad. Francisco Puchal y Pedro Ducar Maluenda. Acribia, Zaragoza, España. 1972. 567 p.
54. JOHNSON, C. M. y ULRICH, A. Analytical methods for use in plant analysis. California, Experimental Station. Bulletin n. 766. 1959. pp 26-45.
55. KIATOKO, M. McDOWELL, L. R., FICK, K. R., FONSECA, H., CAMACHO, J., LOOSLI, J. K. y CONRAD, J. H. Mineral status of cattle in San Carlos region of Costa Rica. *Journal of Dairy Science* 61(3):324-330. 1978.
56. KIDDER, K. W. Symptoms of induced copper toxicity in a steer. *Journal of Animal Science* 8(4):623-624. 1949. (Abstract).
57. LAMOND, D. R. Sources of variation in reproductive performance in selected herds of beef cattle in Northeastern Australia. *Australian Veterinary Journal* 45(2):50-58. 1969.
58. LASSITER, J. W. y BELL, M. C. Availability of copper to sheep from Cu-64 labeled inorganic compounds. *Journal of Animal Science* 19(3):754-762. 1960.
59. LEBDOSOEKOJO, S. Mineral supplementation of grazing beef cattle in eastern plains of Colombia. Tesis Ph. D. Gainesville, Fla. 1977. 280 p.
60. LEON DE, L. A. Efecto de suplementación de fósforo sobre la eficiencia reproductiva de Herefords en praderas naturales del Uruguay. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA 1963. 37 p.
61. LITTLE, D. A. Effects of dry season supplements of protein and phosphorus to pregnant cows on the incidence of first post-partum oestrus. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 15(72):25-30. 1975.

62. _____. Bone biopsy in cattle and sheep for studies of phosphorus status. *Australian Veterinary Journal* 48(12): 668-670. 1972.
63. _____, ROBINSON, P. J., PLAYNE, M. J. y HAYDOCK, K. P. Factors affecting blood inorganic phosphorus determinations in cattle. *Australian Veterinary Journal* 47(4):153-156. 1971.
64. _____. Factors of importance in the phosphorus nutrition of beef cattle in Northern Australia. *Australian Veterinary Journal* 46(6):241-248. 1970.
65. LONG, T. A., TILLMAN, A. D., NELSON, A. B., GALLUP, W. D. y DAVIS, B. Availability of phosphorus in mineral supplements for beef cattle. *Journal of Animal Science* 15(4):1258-1259. 1956.
66. MacPHERSON, A. y HEMINGWAY, R. G. Effect of protein intake on the storage of copper in the liver of sheep. *Journal Science of Food and Agriculture* 16:220-227. 1965.
67. MAHADEVAN, P. Breeding for milk production in tropical cattle. London, England. Technical communication n. 11. Commonwealth Bureau of Animal Breeding. 1966. 154 p.
68. MARSTON, H. y ALLEN, S. H. Function of copper in the metabolism of iron. *Nature* 215:645-646. 1967.
69. McCLURE, T. J. An experimental study of the causes of a nutritional and lactational stress infertility of pasture-fed cows, associated with loss of bodyweight at about the time of mating. *Research in Veterinary Science* 11(3):247-254. 1970.
70. McCOSKER, P. J. Observations in blood copper in the sheep. II. Chronic copper poisoning. *Research Veterinary Science* 9(2):103-116. 1952.
71. _____. Chronic copper poisoning in sheep. *Australian Veterinary Journal* 42:224-225. 1966.
72. McDOWELL, L. R. Bases biológicas de la producción animal en zonas tropicales. Trad. del Inglés por Pedro Ducar Maluenda. Acribia, Zaragoza, España. 1974. 692 p.
73. _____. y CONRAD, J. H. Trace mineral nutrition Latin America. *World Animal Review* 24:24-33. 1977.

74. MONRROW, D. A. Phosphorus deficiency and infertility in dairy heifers. *Journal of the American Veterinary Medical Association* 154(7):761-768. 1969.
75. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrient requirements of domestic animals. 4. Nutrient requirement of beef cattle. 5 ed. National Academy of Science. Washington. 1976. 56 p.
76. O'DONOVAN, J. P., PLUMLEE, M. P., SMITH, W. H. y BEESON, W. M. Availability of phosphorus in dicalcium phosphates and defluorinated phosphate for steers. *Journal of Animal Science* 24(4):981-985. 1965.
77. OLDS, D. y SEATH, D. M. Repeatability, heritability and the effect of level of milk production on the occurrence of first estrus after calving in dairy cattle. *Journal of Animal Science* 12(1):10-14. 1953.
78. OLIVEIRA DE, H. M. Mineral status of beef cattle in the northern part of Mato Grosso, Brazil, as indicated by age, season, and sampling technique. Tesis Ph. D. Gainesville, Fla. 1977. 238 p.
79. O'MARY, C. C. y HILLERS, J. K. Factors affecting time intervals in parturition in beef cattle. *Journal of Animal Science* 42(5):1118-1123. 1976.
80. _____, BUTTS, W. T., REYNOLDS, R. A. y BELL, M. C. Effect of irradiation, age, season and color on mineral composition of Hereford cattle hair, *Journal of Animal Science* 28(2): 268-271. 1969.
81. OVIEDO, M. A. Efecto de la suplementación energética-protéica sobre la tasa reproductiva en vacas de primer parto. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA. 1974. 49 p.
82. PEACOCK, F. M., KOGER, M., CROCKETT, J. R. y WARNICK, A. C. Reproductive performance and crossbreeding Angus, Brahman and Charolais cattle. *Journal of Animal Science* 44(5): 729-733. 1977.
83. PEREZ, S., ALVARADO, A., RAMIREZ, ELIZABETH y KNOX, E. G. Asociación de sub-grupos de suelos de Costa Rica. Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria. San José, Costa Rica. (Mapa preliminar). 1978.
84. PRYOR, W. J. Chronic copper poisoning in sheep. *Australian Veterinary Journal* 42:356. 1966.

85. PRYOR, W. J. The distribution of copper in bovine and ovine foetuses, with reference to their age and maternal liver copper concentrations. *Research in Veterinary Sciences* 5(2):123-137. 1964.
86. RAUN, N. S., STABLES, G. L., POPE, L.S., HARPER, O. F., WALLER, G. R., RENBARGER, R. y TILLMAN, A. D. Trace mineral additions to all-barley rations. *Journal of Animal Science* 27(6):1695-1702. 1968.
87. RICHARDSON, A. T., MARTIN, T. G. y HUNSLEY, R. E. Weaning age of Angus heifer calves as a factor influencing calf and cow performance. *Journal of Animal Science* 47(1):6-14. 1978.
88. RIOS, A. S. Efecto de la suplementación de fósforo en la reproducción y crecimiento del ganado Brahman en Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 54 p.
89. ROWLANDS, J. R., LITTLE, W. y KITCHENHAM, B. A. Relationship between blood composition and fertility in dairy cows: A field study. *Journal of Dairy Research* 44(1-7):1-7. 1977.
90. SALISBURY, G. W. y VAN DENARK, H. L. Fisiología de la reproducción e inseminación artificial de los bóvidos. Trad. José María Santiago Luque. Acribia, España, 1964. 707 p.
- * 91. SCHMIDT, G. H. y VAN VLECK, L. D. Bases científicas de la producción lechera. Trad. Pedro Ducar Maluenda. Acribia, Zaragoza, España, 1974. 583 p.
92. SCHOTTLER, J. H. y WILLIAMS, W. T. The effect of early weaning of Brahman cross calves on calf growth and reproductive performance of the dam. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 15(75):456-459. 1975.
93. SHORT, R. E., BELLOWS, R. A., MOODY, E. L. y HOWLAND, B. E. Effects of suckling mastectomy on bovine postpartum reproduction. *Journal of Animal Science* 34(1):70-74. 1972.
94. SEEKLES, L. Copper and fertility in cattle. *Schweiz Arch Tierheilk* 109(2):76-84. 1967. Compendiado en *Biological Abstracts* 49:3977. 1968.
95. SILVA DA, J. F. y CHAVES, C. Cobre y molibdeno en la nutrición de los rumiantes. In *Seminario Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo*, Gainesville, Fla. 1978. pp. 98-105.

96. SOURKES, T. L., LLOYD, K. y BIRNBAUM, H. Inverse relationship of hepatic copper and iron concentrations in rats fed deficient diets. *Canadian Journal of Biochemistry* 46(3):267-271. 1968.
97. STANDISH, J. F., AMMERMAN, C. B., SIMPSON, C. F., NEAL, F. C. y PALMER, A. Z. Influence of graded levels of dietary iron, as ferrous sulfate, on performance and tissue mineral composition of steers. *Journal of Animal Science* 29(3):496-503. 1969.
98. SWENSON, M. J. Dukes physiology of domestic animals. 8 ed. Vail-Balloy Press, USA. 1970. 1463 p.
99. THOMPSON, D. J. y CAMPABADAL, C. M. El calcio, fósforo y el flúor en la nutrición de los rumiantes. In McDowell, L. R. y Conrad, J. H. Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en Nutrición Mineral de los Rumiantes en Pastoreo. Gainesville, Fla. 1978. pp. 55-62.
100. THORNTON, I., ATKINSON, W. J. y WEBB, J. S. Geochemical reconnaissance and bovine hypocuprosis in Co. Limerick, Ireland. *Irish Journal of Agricultural Research* 5(2):280-283. 1966.
101. TILLEY, J. M. y TERRY, R. A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society* 24(4):290-295. 1969.
102. TODD, J. R. Chronic copper toxicity of ruminants. *The Proceedings of the Nutrition Society* 28(2):189-197. 1969.
103. UNDERWOOD, E. J. Los minerales en la alimentación del ganado. Trad. Pedro Ducar Maluenda. Acribia, Zaragoza, España, 1969. 320 p.
104. VAN DEMARK, H. L. y SALISBURY, G. W. The relation of the post-partum breeding interval to reproductive efficiency in the dairy cow. *Journal of Animal Science* 9(3):307-313. 1950.
105. VANDERVEEN, J. E. y KEENER, H. A. Effect of molybdenum and sulfate sulfur on metabolism of copper in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 47(11):1224-1236. 1964.
106. WARNICK, A. C., KIDDER, R. W., BEARDSLEY, D. W., CROCKETT, J. R. y KOGER, M. Feed conversion by straightbred and crossbred cows fed in confinement. In Koger, M., Cunha, T. J. y Warnick, A. C. *Crossbreeding beef cattle*. Gainesville, Fla. 1973. 459 p. Series 2.

107. WEBB, K. E., FONTENOT, J. P. y WISE, M. B. Utilization of phosphorus from different supplements for growing-finishing beef steers. *Journal of Animal Science* 40(4):760-768. 1975.
108. _____, THORNTON, I. y FLETCHER, K. Geochemical reconnaissance and hypocuprosis. *Nature* 217:1010-1012. 1968.
109. WETTEMANN, R. P., TURMAN, E. J., WYATT, R. D. y TOTUSEK, R. Influence of suckling intensity on reproductive performance of range cows. *Journal of Animal Science* 47(2):342-346. 1978.
110. WISE, M. B., WENTWORTH, R. A. y SMITH, S. E. Availability of the phosphorus in various sources for calves. *Journal of Animal Science* 20(2):329-335. 1961.

IX. A P E N D I C E

Cuadro 1A. Análisis de varianza para porcentajes de preñez

Fuente de variación	GL	CM
Niveles de cobre	2	279,947937 ns
Niveles de fósforo	3	625,000123 **
Interacción cobre X fósforo	6	149,739593 ns
Error	12	104,15667
Total	23	

** Significativo ($p \leq 0,01$)

ns = No significativo

Cuadro 2A. Concentración de cobre (en ppm) en suero sanguíneo, promedio por tratamiento y por réplica en el muestreo inicial.

Nivel de cobre	Réplica I	Réplica II	Réplicas I + II
0	0,74	0,54	0,64
0	0,68	0,44	0,56
0	0,48	0,46	0,47
0	0,48	0,46	0,47
	$\bar{X} = 0,60 \pm 0,14$	$\bar{X} = 0,48 \pm 0,04$	$\bar{X} = 0,54 \pm 0,08$
1	0,46	0,46	0,46
1	0,54	0,52	0,53
1	0,60	0,84	0,72
1	0,58	0,60	0,59
	$\bar{X} = 0,55 \pm 0,06$	$\bar{X} = 0,61 \pm 0,17$	$\bar{X} = 0,58 \pm 0,11$
2	0,56	0,56	0,56
2	0,48	0,51	0,49
2	0,49	0,54	0,51
2	0,49	0,49	0,49
	$\bar{X} = 0,50 \pm 0,04$	$\bar{X} = 0,52 \pm 0,03$	$\bar{X} = 0,51 \pm 0,03$
Totales	$\bar{X} = 0,55 \pm 0,09$	$\bar{X} = 0,53 \pm 0,11$	$\bar{X} = 0,54 \pm 0,08$

Dentro de cada nivel de cobre $n = 4 \times 8 = 32$ vacas por réplica.

Cuadro 3A. Concentración de cobre (en ppm) en suero sanguíneo, promedio por tratamiento y por réplica en el muestreo final.

Nivel de cobre	Réplica I	Réplica II	Réplicas I + II
0	0,59	0,64	0,61
0	0,59	0,73	0,66
0	0,66	0,82	0,74
0	0,29	0,61	0,45
	$\bar{X}_0=0,53\pm 0,17$	$\bar{X}_0=0,70\pm 0,09$	$\bar{X}_0=0,62\pm 0,12$
1	0,82	0,79	0,80
1	0,72	0,58	0,65
1	0,48	0,81	0,64
1	0,52	0,82	0,67
	$\bar{X}_1=0,63\pm 0,16$	$\bar{X}_1=0,75\pm 0,11$	$\bar{X}_1=0,69\pm 0,08$
2	0,44	0,83	0,63
2	0,52	0,57	0,54
2	0,39	0,61	0,50
2	0,58	0,56	0,57
	$\bar{X}_2=0,48\pm 0,08$	$\bar{X}_2=0,64\pm 0,13$	$\bar{X}_2=0,56\pm 0,06$
Totales	$\bar{X}_I=0,55\pm 0,14$	$\bar{X}_{II}=0,70\pm 0,11$	$\bar{X}_{I+II}=0,62\pm 0,10$

Dentro de cada nivel de cobre $n = 4 \times 8 = 32$ vacas por réplica

Cuadro 4A. Promedio de concentración de cobre (en ppm) en el suero sanguíneo, por tratamiento, por réplica, por muestreo y porcentaje de cambio.

Tratamiento	Muestreo inicial			Muestreo final			Cambio %
	R-I	R-II	I + II	R-I	R-II	I + II	
00	0,74	0,54	0,64	0,59	0,64	0,62	-3,13
10	0,68	0,44	0,56	0,59	0,68	0,64	+14,29
20	0,48	0,46	0,47	0,66	0,82	0,74	+57,45
30	0,48	0,46	0,48	0,29	0,59	0,44	-8,33
01	0,46	0,46	0,46	0,83	0,79	0,81	+76,09
11	0,54	0,52	0,53	0,47	0,81	0,64	+20,75
21	0,60	0,84	0,72	0,72	0,58	0,65	-9,72
31	0,58	0,60	0,59	0,53	0,83	0,68	+15,25
02	0,56	0,56	0,56	0,44	0,84	0,64	+14,29
12	0,48	0,51	0,50	0,53	0,57	0,55	+10,00
22	0,49	0,54	0,52	0,39	0,61	0,50	-3,85
32	0,49	0,49	0,49	0,58	0,56	0,57	+16,33
$\bar{X} =$	0,55	0,54	0,54	0,55	0,69	0,62	$\bar{\bar{X}} = +16,62$

Dentro de cada tratamiento $n = 8$ por repetición (R)

Cuadro 5A. Concentración de fósforo (en mg/100 ml) en suero sanguíneo, promedio por tratamiento y por réplica, en el muestreo inicial.

Nivel de fósforo	Réplica I	Réplica II	Réplicas I + II
0	6,3	7,1	6,7
0	7,7	6,9	7,3
0	5,5	6,1	5,8
	$\bar{X} = 6,5 \pm 1,1$	$\bar{X} = 6,7 \pm 0,5$	$\bar{X} = 6,6 \pm 0,8$
1	6,7	7,1	6,9
1	7,4	6,6	7,0
1	5,5	6,5	6,0
	$\bar{X} = 6,5 \pm 1,0$	$\bar{X} = 6,7 \pm 0,3$	$\bar{X} = 6,6 \pm 0,6$
2	7,5	7,9	7,7
2	5,7	6,6	6,1
2	6,8	6,6	6,7
	$\bar{X} = 6,6 \pm 0,9$	$\bar{X} = 7,0 \pm 0,06$	$\bar{X} = 6,8 \pm 0,8$
3	6,9	7,3	7,1
3	5,7	6,1	5,9
3	6,2	6,5	6,4
	$\bar{X} = 6,3 \pm 0,06$	$\bar{X} = 6,7 \pm 0,6$	$\bar{X} = 6,5 \pm 0,6$
	$\bar{X} = 6,5 \pm 0,8$	$\bar{X} = 6,8 \pm 0,5$	$\bar{X} = 6,6 \pm 0,7$

Dentro de cada nivel de fósforo $n = 3 \times 8 = 24$ vacas por réplica

Cuadro 6A. Concentración de fósforo en suero sanguíneo (en mg/100 ml) promedio por tratamiento y por réplica en el muestreo final.

Nivel de fósforo	Réplica I	Réplica II	Réplicas I + II
0	4,9	4,1	4,5
0	5,4	4,5	5,0
0	5,4	4,7	5,0
	$\bar{X} = 5,2 \pm 0,3$	$\bar{X} = 4,4 \pm 0,3$	$\bar{X} = 4,8 \pm 0,3$
1	5,4	4,8	5,1
1	4,9	4,3	4,6
1	5,6	4,1	4,9
	$\bar{X} = 5,3 \pm 0,4$	$\bar{X} = 4,4 \pm 0,4$	$\bar{X} = 4,9 \pm 0,4$
2	5,2	4,9	5,1
2	5,0	4,7	4,8
2	5,5	4,6	5,1
	$\bar{X} = 5,2 \pm 0,3$	$\bar{X} = 4,7 \pm 0,1$	$\bar{X} = 5,0 \pm 0,1$
3	5,4	4,7	5,0
3	4,6	4,3	4,5
3	4,8	4,1	4,4
	$\bar{X} = 5,0 \pm 0,4$	$\bar{X} = 4,3 \pm 0,3$	$\bar{X} = 4,6 \pm 0,2$
	$\bar{X} = 5,2 \pm 0,3$	$\bar{X} = 4,5 \pm 0,3$	$\bar{X} = 4,8 \pm 0,3$

Dentro de cada nivel de fósforo $n = 3 \times 8 = 24$ vacas por réplica

Cuadro 7A. Promedios de concentración de fósforo en el suero sanguíneo, por tratamiento, por réplica, por muestreo y porcentaje de cambio.

Trata- miento	Muestreo inicial			Muestreo final			Cambio %
	R-I	R-II	I + II	R-I	R-II	I + II	
00	6,3	7,1	6,7	4,9	4,1	4,5	-33
10	6,7	7,1	6,9	5,4	4,8	5,1	-26
20	7,5	7,9	7,7	5,2	4,9	5,1	-34
30	6,9	7,3	7,1	5,4	4,7	5,0	-29
01	7,7	6,9	7,3	5,4	4,5	5,0	-32
11	7,4	6,6	7,0	4,9	4,3	4,6	-34
21	5,7	6,5	6,1	5,0	4,7	4,8	-20
31	5,7	6,1	5,9	4,6	4,3	4,5	-24
02	5,5	6,1	5,8	5,4	4,7	5,0	-13
12	5,5	6,5	6,0	5,6	4,1	4,9	-18
22	6,8	6,6	6,7	5,5	4,6	5,1	-24
32	6,2	6,5	6,4	4,8	4,1	4,5	-30
$\bar{X} =$	6,5	6,8	6,6	5,2	4,5	4,8	-27

Por cada tratamiento n = 8 por réplica (R)

Cuadro 8A. Análisis de varianza para concentraciones de cobre y fósforo en suero sanguíneo.

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios	
		Cobre	Fósforo
Bloques (lotes)	1	0,138138 ns	0,579699 ns
Niveles de cobre	2	0,328124 ns	2,830143 *
Niveles de fósforo	3	0,482512 *	8,116319 **
Cobre x fósforo	6	0,137968 ns	0,239276 ns
Error	179	0,15623	0,596800
Total	191		

* Significativo ($P \leq 0,05$)

** Significativo ($P \leq 0,01$)

ns No significativo

Cuadro 9A. Análisis de varianza para concentración de cobre y fósforo en el pasto.

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios	
		Cobre	Fósforo
Fecha de muestreo	1	2743,45013 **	0,00719 ns
Réplica/muestreo	2	36,8242 ns	0,00220 ns
Observaciones/réplica	103	86,1920	0,01247
Total	106		

** Significativo ($P \leq 0,01$)

ns No significativo

Cuadro 10A. Análisis de varianza para concentración de cobre y fósforo en el suelo.

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios	
		Cobre	Fósforo
Fecha de muestreo	1	104,76641 ns	33,9328 ns
Réplica/muestreo	2	275,9523 ns	10,4761 ns
Observaciones/réplica	47	152,9625	13,7695
Total	50		

ns No significativo

Cuadro 11A. Composición química del pasto, promedio por repetición y por muestreo.

Componentes	Muestreo inicial			Muestreo final		
	R-I	R-II	R-I+II	R-I	R-II	R-I+II
1	22,1 \pm 4,5	24,0 \pm 4,4	23,3 \pm 4,5	20,1 \pm 4,9	29,3 \pm 6,5	28,8 \pm 5,9
2	8,5 \pm 2,2	8,7 \pm 2,1	8,6 \pm 2,1	9,2 \pm 2,7	8,8 \pm 2,4	8,9 \pm 2,5
3	39,3 \pm 9,0	45,1 \pm 7,7	43,1 \pm 8,6	-----	-----	-----
4	26,0 \pm 7,7	23,9 \pm 5,4	24,6 \pm 6,3	34,0 \pm 11	35,2 \pm 12	34,7 \pm 11
5	0,12 \pm 0	0,12 \pm 0	0,12 \pm 0	0,11 \pm 0	0,09 \pm 0	0,10 \pm 0

- 1 Materia seca (%)
 2 Proteína cruda (%)
 3 Digestibilidad de la MS (%)
 4 Concentración de cobre ($\mu\text{g/ml}$)
 5 Concentración de fósforo ($\mu\text{g/ml}$)

En muestreo inicial n = 18 en repetición I y n = 34 en repetición II.

En muestreo final n = 22 en repetición I y n = 33 en repetición II.

R = Repetición (área de potreros)

Cuadro 12A. Concentración de cobre y fósforo en el suelo, promedios por repetición y por muestreo.

Elementos	Muestreo inicial			Muestreo final		
	R-I	R-II	R-I+II	R-I	R-II	R-I+II
1	12,5 \pm 3,3	7,0 \pm 1,8	9,9 \pm 3,8	16,2 \pm 4,1	8,7 \pm 2,3	12,7 \pm 5,1
2	2,4 \pm 0,5	2,7 \pm 1,2	2,6 \pm 0,9	5,0 \pm 2,9	3,3 \pm 0,6	4,2 \pm 2,3

1 Concentración de cobre ($\mu\text{g/ml}$)

2 Concentración fósforo ($\mu\text{g/ml}$)

En muestreo inicial $n = 13$ en repetición I, y $n = 12$ en repetición II.

En muestreo final $n = 14$ en repetición I, y $n = 12$ en repetición II.

R = Repetición (área de potreros)