



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES

TESIS:

EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE COBRE A LA DIETA DE BOVINOS PRODUCTORES DE CARNE SOBRE EL REINICIO DE LA ACTIVIDAD OVÁRICA

PARA OBTENER EL GRADO EN MAESTRA EN: PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA CON OPCION PECUARIA

Presenta:

MVZ. Ruth Manzayani Garcia Fuerte

Directora de tesis. Dra. Ernestina Gutiérrez Vázquez

Co- director: MC. José Alberto García Escalera

Comité tutorial

Dr. Ruy Ortiz Rodríguez

Dra. Jeannette Sofía Bayuelo Jiménez

Dr. Aureliano Juárez Caratachea



Morelia, Michoacán, enero 2023.



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES

TESIS:

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN DE COBRE A LA DIETA DE BOVINOS PRODUCTORES DE CARNE SOBRE EL REINICIO DE LA ACTIVIDAD OVÁRICA

PARA OBTENER EL GRADO EN MAESTRA EN: PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA CON OPCION PECUARIA

Presenta:

MVZ. Ruth Manzayani Garcia Fuerte



Morelia, Michoacán, enero, 2023.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia y amigos por creer en mí, y siempre estar presentes dándome aliento para seguir creciendo personal y académicamente.

Expreso un sincero agradecimiento a mis asesores por su paciencia, dedicación y apoyo para la elaboración de esta tesis.

Agradecimientos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca brindada para mi formación de maestría.

Mi mayor agradecimiento a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, y al Instituto de Investigaciones Agropecuaria y Forestales por abrirme sus puertas para seguir formándome para ser mejor profesionalista.

Agradezco a los productores de La Huacana que siempre se han mostrado dispuestos, colaborativos con la investigación.

ÍNDICE

	Resumen	4
	Abstract	5
1.	Introducción	6
2.	Antecedentes	
2.1	El sector pecuario en México	9
2.1.1	Los sistemas de producción bovinos carne en el trópico mexicano	10
2.2	El sector pecuario en Michoacán	11
2.2.1	Producción de bovinos carne en Michoacán	12
2.2.2	Características de los sistemas de producción de bovinos carne en el trópico michoacano	12
2.2.3	Antecedentes de la vocación ganadera de la región tierra caliente del estado de Michoacán	14
2.3	Importancia y problemática de la ganadería familiar	14
2.4	Factores ambientales y genéticos que afectan la reproducción de los bovinos carne	15
2.4.1	El pastoreo como estrategia de producción en los sistemas de producción de bovinos carne en el trópico	16
2.4.2	Elementos de mejoramiento genético en bovinos productores de carne para efficientizar la productividad del ganado en el trópico	19
2.5	Relación entre los parámetros nutricionales-parámetros reproductivos en bovinos productores de carne bajo condiciones del trópico (seco y subhúmedo)	20
2.5.1	Relación nutrición-genotipo-días abiertos en ganado bovino bajo condiciones de trópico	23
2.6	Suplementación a la dieta de los bovinos productores de carne con minerales y su efecto en los parámetros reproductivos	25
2.6.1	Función y metabolismo del cobre	25
2.6.1.1	Efecto del cobre en la reactivación ovárica temprana en bovinos productores de carne	28
2.6.1.2	Estrés oxidativo en el ovario de la vaca por deficiencia de cobre	29
2.6.1.3	Estrategias de suplementación de cobre en los sistemas de producción de bovinos carne bajo condiciones de trópico	30
3.	Planteamiento del problema	31
4.	Hipótesis	32
5.	Objetivos	32
5.1	Objetivo general	32
5.2	Objetivos particulares	32
6.	Materiales y métodos	32
7.	Resultados y discusión	34
8.	Conclusión	40
9.	Consideraciones generales	41
10.	Bibliografía	41

ÍNDICE DE TABLAS

1. Consumo per cápita de carne en el mundo durante el periodo de 1995-2026	9
2. Requerimientos nutricionales (% en base seca) de cada etapa productiva en los bovinos productores de carne	17
3. Composición nutricional (% en base seca) de los principales pastos presentes en la región TC Michoacán	18
4. Fases del ciclo estral de la vaca	20
5. Relación de la condición corporal con la capacidad reproductiva de los bovinos	22
6. Alteraciones reproductivas ocasionadas por deficiencias minerales	25
7. Análisis de efectos fijos para variables reproductivas y productivas de vacas productoras de carne bajo condiciones de trópico subhúmedo	35
8. Medias de mínimos cuadrados para las variables reproductivas productivas de vacas bajo trópico subhúmedo de acuerdo con el grupo	37
9. Correlaciones de Pearson para variables reproductivas y productivas de vacas híbridas bajo trópico subhúmedo	38

ÍNDICE DE FIGURAS

1 Mapa de los climas de México	10
2. Caracterización esquemática del sistema vaca-cría en el trópico.	13
3. Esquema de la interacción entre la nutrición y la reactivación ovárica	24
4. Esquematación de la formación de tiomolibdatos a partir de un desequilibrio de azufre, molibdeno y cobre.	26
5. Esquema de la dinámica metabólica del cobre en bovinos	27
6. Balance oxidativo.	30
7. Ultrasonografía de vacas con suplementación con Cu (12 ppm) en la dieta (vacas 1 a la 5) y sin suplementación de Cu (vacas 6 a 10) bajo condiciones de trópico subhúmedo	36
8. Dinámica de la concentración de Cu sanguíneo de acuerdo con el día y grupo	39

Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto de la suplementación de la dieta con cobre (Cu) a 12 ppm vaca/día sobre el reinicio de la actividad ovárica (RAO), en bovinos productores de carne bajo condiciones del trópico subhúmedo. La investigación se realizó en el municipio de La Huacana, Michoacán., México, se utilizaron 10 vacas híbridas (Suizo x Cebú) de 2 a 5 partos, próximas al parto y, sin antecedentes de problemas reproductivos. Con el total de vacas fueron conformados dos grupos ($n = 5$ vacas/grupo): grupo testigo (GT) y grupo experimental (GE); grupos sometidos al esquema de alimentación convencional de la región (36.0 kg de silo vaca/día, 7.3 kg de rastrojo vacas/día y pastoreo); la única diferencia entre ambos grupos fue que, el GE recibió suplementación de Cu a 12 ppm vacas/día. Las variables evaluadas en ambos grupos/vaca fueron: condición corporal (CC) al día 111 postparto, RAO postparto, porcentaje de gestación (DG), días abiertos postparto (DAPP), concentración de Cu sérico (CuS) en los días 35, 60, 80 y 100 postparto y, en el GE, se evaluó consumo de Cu (ppm) vacas/día. La información recabada durante la fase experimental fue analizada a través de los modelos de efectos fijos (MIXED) (SAS, 2010). y las diferencias entre grupos fueron obtenidas a través de medias de mínimos cuadrados (LsMeans, siglas en inglés) a un $\alpha=0.05$; las variables de cualidad (RAO y DG) fueron analizadas mediante X^2 a un $\alpha=0.05$. Se encontró efecto de grupo sobre: CC al día 111 postparto ($p= 0.0035$), DAPP ($p=0.001$) y RAO ($p<0.05$); pero, no se encontró efecto ($p>0.05$) de grupo sobre el número de vacas gestantes (DG) ni sobre CuS ($p=0.8060$). No obstante, si se encontró efecto de la anidación día(grupo) sobre esta variable ($p=0.0106$). El consumo de Cu en el GE fue de 10.8 ± 3.5 ppm vaca/día. En cuanto a las diferencias entre grupos, el GE presentó mayor ($p<0.05$) CC al día 111 postparto (3.0 ± 0.11 puntos) vs GT (2.7 ± 0.11 puntos). El GE presentó 100% de RAO vs 40% en el GT; ambos porcentajes diferentes entre sí ($p<0.05$). El DG (por ultrasonografía) determinó que solo dos vacas (40%) estaban gestantes en el GE y 0.0% en el GT, ambos promedios similares entre sí ($p>0.5$). La cantidad de días abiertos postparto fue menor (<0.05) en el GE (112.8 ± 7.8 días) vs GT (143 días). El promedio de CuS fue de 0.24 y 0.25 ppm de Cu vacas en el GT y GE, respectivamente, ambos promedios iguales ($p>0.05$) entre sí; en el día 60 postparto, se observó la mayor concentración de dicho mineral en el GE (0.29 ± 0.018 ppm de CuS), mientras que en el GT fue de 0.24 ± 0.018 ppm, ambos promedios diferentes ($p<0.05$) entre sí. Finalmente, la suplementación a la dieta de vacas postparto con Cu a 12 ppm sugiere mejora en los parámetros reproductivos; pero, no existieron evidencias estadísticas sobre el efecto de dicha suplementación sobre el reinicio de la actividad ovárica.

Palabras clave: Cobre, forraje, suplementación, nutrición y reproducción

ABSTRACT

The objective was to evaluate the effect of dietary supplementation with copper (Cu) at 12 ppm cow/day on the resumption of ovarian activity (RAO), in beef cattle under subhumid tropic conditions. The research was conducted in the municipality of La Huacana, Michoacán., Mexico, ten hybrid cows (Swiss x Cebu) of 2 to 5 calvings, close to calving and with no history of reproductive problems, were used. With the total number of cows, two groups were formed (n = 5 cows/group): control group (GT) and experimental group (GE); groups subjected to the conventional feeding scheme of the region (36.0 kg of cow silo/day, 7.3 kg of cow stover/day and grazing); the only difference between the two groups was that the EG received Cu supplementation at 12 ppm cows/day. The variables evaluated in both groups/cows were body condition (WC) at day 111 postpartum, postpartum RAO, percentage of gestation (GD), open days postpartum (DAPP), serum Cu concentration (CuS) on days 35, 60, 80 and 100 postpartum and, in the EG, consumption of Cu (ppm) cows / day was evaluated. The information collected during the experimental phase was analyzed through fixed-effect models (MIXED) (SAS, 2010). and differences between groups were obtained through least squares means (LsMeans) at $\alpha=0.05$; quality variables (RAO and DG) were analyzed using X^2 at $\alpha=0.05$. A group effect was found on: CC at day 111 postpartum ($p=0.0035$), DAPP ($p=0.001$) and RAO ($p<0.05$); however, no effect ($p>0.05$) of group on the number of pregnant cows (DG) or on CuS ($p=0.8060$) was found; However, an effect of day(group) nesting was found on this variable ($p=0.0106$). Cu consumption in the EG was 10.8 ± 3.5 ppm cow/day. Regarding the differences between groups, the EG presented higher ($p<0.05$) CC at day 111 postpartum (3.0 ± 0.11 points) vs. GT (2.7 ± 0.11 points). The EG presented 100% RAO vs 40% in the GT; both percentages differed from each other ($p<0.05$). The DG (by ultrasonography) determined that only two cows (40%) were pregnant in the EG and 0.0% in the GT, both similar averages to each other ($p>0.5$). The number of open postpartum days was lower (<0.05) in EG (112.8 ± 7.8 days) vs GT (143 days). The average CuS was 0.24 and 0.25 ppm Cu cows in the GT and GE, respectively, both equal means ($p>0.05$) with each other; on day 60 postpartum, the highest concentration of this mineral was observed in the EG (0.29 ± 0.018 ppm CuS), while in the GT it was 0.24 ± 0.018 ppm, both different averages ($p<0.05$) from each other. Finally, supplementation to the diet of postpartum cows with Cu at 12 ppm suggests improvement in reproductive parameters; however, there was no statistical evidence on the effect of such supplementation on the restart of ovarian activity.

Keywords: Copper, fodder, supplementation, nutrition, and reproduction

Introducción

México es un país en desarrollo y es la segunda economía más importante de América Latina; su economía está basada en el mercado libre y orientado a las exportaciones (López, 2018). A pesar de estas circunstancias, el sector pecuario se mantiene relegado (Figuroa-Reyes *et al.*, 2019). En este sentido, Basurto y Escalante (2012) sugieren que el olvido de dicho sector está asociado a la deficiente tecnología, inadecuadas políticas sociales y económicas hacia el sector agropecuario, cambio climático, periodos de estiaje más largos, sobre pastoreo y erosión al suelo.

Aunado a la problemática descrita anteriormente, el consumo per cápita de carne de res, a nivel mundial, ha decrecido desde el año 1995 al 2017, caso contrario se puede observar a nivel nacional, en donde el consumo per cápita se incrementó y en el año 2021 fue de 14.8 kg. En relación con la producción de carne de res en el país, esta fue de 2.1 millones de toneladas (t) (SIAP, 2020). En el 2020, la producción de carne bovino en México generó un valor cercano a los 299,091 millones de pesos (SIAP, 2020). De acuerdo con la información nacional, el sector pecuario de Michoacán aporta una importante producción de carne (bovinos, porcinos y aves) para el mercado estatal y nacional; en el 2018, la producción del estado fue de 538 mil t, cifra que representó 12 mil millones de pesos. En relación con esto, la producción de carne es la principal actividad pecuaria en México, se estima que el 60% del territorio mexicano se utiliza para la ganadería (SIAP, 2019).

Con respecto a la producción de carne de bovinos, esta se produce en forma intensiva y extensiva; la forma extensiva es la que predomina en el país y se realiza principalmente en las siguientes regiones agroecológicas: árida, trópico seco, trópico húmedo y subhúmedo (González-Padilla y Dávalos-Flores, 2015). Sin embargo, existen diversos sistemas de producción de bovinos carne en México; pero, los más importantes son; el sistema vaca-cría y la engorda de becerros (en pastoreo y estabulado). El sistema vaca-cría y la venta de becerros al destete se desarrolla en pastoreo; en el cual, se emplean pastizales nativos y/o pastos introducidos (Medina y Torres, 2018).

Marín y Castaño (2019), sugieren que dentro de los problemas del sistema vaca-cría existen diversos factores ambientales y genéticos que afectan la producción de dicho sistema,

mismos que modulan el desempeño reproductivo y productivo del hato. En relación con el factor ambiental, destacan: temperatura, viento, humedad, precipitación, radiación solar, luz, nubosidad, presión atmosférica y, otras propias de los animales (patologías reproductivas postparto y parasitosis). Aunado a estos factores, se encuentran la alimentación del ganado, en la cual, la calidad del forraje es esencial para evitar el desbalance energético de las vacas y sus consecuencias negativas en la producción (Fernández, 2022). Dentro del factor genético, se encuentran los estándares raciales del ganado, en las regiones tropicales ganaderas del país, predomina el ganado híbrido, aspecto que ofrece ventajas en estas regiones; puesto que, los híbridos se adaptan mejor a los climas tropicales y son más eficientes productivamente (becerro/vaca/año, edad y peso al destete); ello, debido al denominado vigor híbrido (Rodríguez y Regino, 2019).

Otro factor ambiental, que impide la eficiencia reproductiva y productiva del sistema vaca-cría, es el estrés calórico de los animales producido por las altas temperaturas de los trópicos (Sara-Pinilla, 2020). El estrés calórico causa estrés oxidativo al organismo, lo que altera negativamente las funciones reproductivas del animal (Fernández, 2022). También la producción de forrajes se ve afectada por el estrés calórico. El forraje exhibe una menor producción de bioma, debido a que está sometido a mayor estrés oxidativo por la privación de agua, lo cual provoca en la planta cierre de los estomas, reducción del CO₂ e incremento del O₂; lo que ocasiona fotorrespiración y disminución de la fotosíntesis (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017; Barrios *et al.*, 2019).

Cuevas (2019), establece que los pastos constituyen la única fuente de alimentación de los bovinos en pastoreo, por lo tanto, los aportes y deficiencias nutricionales en la alimentación de estos animales dependen, de manera general, de la calidad de los forrajes en los agostaderos. Sin embargo, en el trópico existe diversidad forrajera (Sosa-Montes *et al.*, 2021); pero, la calidad nutricional de los forrajes del trópico no permite cubrir los requerimientos de minerales del ganado en pastoreo (Gómez-Vázquez *et al.*, 2018).

El aporte de minerales del forraje es esencial para los bovinos e influye en la eficiencia reproductiva y productiva del hato (Córdova *et al.*, 2021). No obstante, la deficiencia de Cu es la que mayor impacto económico tiene; puesto que este mineral, es considerado como un elemento multifuncional, porque interviene tanto en la absorción de nutrientes y en el

desarrollo del individuo, así como en los aspectos reproductivos de los animales (Torres, 2018).

El Cu es un micro mineral esencial en la nutrición de los rumiantes, participa en varios procesos fisiológicos (Martins *et al.*, 2020), su función principal, es promover la eliminación de radicales libres, por medio de la unión con diferentes enzimas. También promueve la actividad enzimática, es un reactivador de proteínas y optimiza la señalización celular (Lengua, 2021).

Las investigaciones del efecto del Cu sobre la reproducción de los bovinos, se describe cómo el Cu interactúa positivamente con el eje hipotálamo-hipófisis-ovario; específicamente, cómo está implicado en la reducción del estrés oxidativo en el ovario (García *et al.*, 2006; Salamanca 2010; Pedroso *et al.*, 2014; Gómez-Rendón *et al.*, 2019). Al respecto, la disminución oxidativa del ovario (por estrés calórico) debido a la acción del Cu, permite el desarrollo adecuado de la dinámica folicular; puesto que, la unión del Cu con el zinc-superoxidasa (Zn-SOD) provoca mayor síntesis y secreción de la hormona gonadotrópica (GnRH), cuya acción se refleja en la modulación y liberación de hormona folículo estimulante (FSH) y hormona luteinizante (LH) (Gómez-Rendón *et al.*, 2019).

El Cu al regular la actividad enzimática de la lisil oxidasa (LOX) evita la disminución del estradiol (E2) en el ovario. Además, este mineral, está asociado con el desarrollo del embrión y la señalización temprana de la gestación (Rodríguez *et al.*, 2021). Asimismo, el Cu participa en el metabolismo energético, aspecto que se refleja en la Condición Corporal (CC) de los animales. Estas funciones del Cu, en el organismo, explicarían la disminución de la concepción, ciclos anovulatorios y anestros, asociados a la hipocuprosis (Gómez-Rendón *et al.*, 2019). Por ello, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la suplementación de la dieta con Cu a 12 ppm, sobre el reinicio de la actividad ovárica en bovinos productores de carne bajo condiciones del trópico subhúmedo.

2. Antecedentes

2.1 El sector pecuario en México

México es un país en desarrollo y es la segunda economía más importante de América Latina; su economía está basada en el mercado libre y orientado a las exportaciones (López, 2018). A pesar de que, este sector es la base del desarrollo de la industria agroalimentaria del país aún se mantiene relegado por las políticas públicas de México (Figueroa-Reyes *et al.*, 2019). Basurto y Escalante (2012) sugieren que el olvido de dicho sector está asociado a varios factores, tales como: deficiente tecnología, inadecuadas políticas sociales y económicas (pobreza) hacia el sector agropecuario, cambio climático, periodos de estiaje prolongados, sobre pastoreo y erosión al suelo.

Aunado a la problemática descrita en el párrafo anterior, de acuerdo con la Tabla 1, el consumo per cápita mundial disminuyó: en el año 1995 dicho consumo fue de 6.8 kg; en el 2017, fue de 6.4 kg y se pronostica que para el año 2026, este sea de 6.5 kg. Mientras que, en México, el consumo per cápita se incrementó: en el 2020, fue de 14.8 kg y se estima que este crezca 1% anualmente. Aspecto posiciona México en el 6° lugar dentro del ranking mundial del consumo de carne de res (SIAP, 2020).

Tabla 1. Consumo per cápita de carne en el mundo durante el periodo de 1995-2026.

	kg per cápita					
	1995	%	2017	%	2026**	% total
Bovino	6.8	24.6	6.4	18.7	6.5	18.7
Porcino	10.6	38.6	12.2	35.6	12.1	35.0
Ovino	1.6	5.8	1.7	5.0	1.9	5.4
Aves	8.5	31.0	14.0	40.7	14.1	40.8
Total	27.5		34.3		34.6	

Nota: **Pronosticado. *Fuente:* OCDE-FAO Agricultura Outlook 2016-2025, 2017-2026 y 2018-2027.

En el 2019, la producción de carne de res, a nivel mundial, fue de 61.6 millones de t. En México la producción de carne de res fue de 2.1 millones de t (SIAP, 2020). Esta producción le generó al país, un valor cercano a los 299,091 millones de pesos (Cuevas, 2019; Castro-Samano *et al.*, 2019). No obstante, la industria de la carne de bovino en el país enfrenta diversos problemas relacionados con la producción y venta de becerros al destete, debido a que los ganaderos estadounidenses compran este ganado de bajo peso a bajo costo; y

posteriormente en EUA, dicho ganado es mejor alimentado y finalmente exportado hacia México, como carne de alta calidad y a alto costo (Magaña-Magaña *et al.*, 2020).

2.1.1 Los sistemas de producción bovinos carne en el trópico mexicano

La producción de carne de res es la principal actividad pecuaria en México, se estima que el 60% del territorio mexicano se utiliza para la ganadería; superficie donde se desarrolla la producción de bovinos de forma intensiva y extensiva; esta última, es característica de las regiones catalogadas como secas y tropicales (húmedo y subhúmedo) del país (Figura 1) (González-Padilla y Dávalos-Flores, 2015).



Figura 1. Mapa de los climas de México.

Fuente: <https://www.mapademexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/02/mapa-de-climas-de-mexico.jpg>.

En la producción de bovinos carne existen diversos sistemas; pero, los más importantes son; el sistema vaca-cría y engorda de becerros (en pastoreo y estabulado) (Martínez-González *et al.*, 2017). El primero, se define por la producción de becerros y su venta al nacimiento o al destete y el cual, se caracteriza como un sistema ineficiente productivamente, debido al

escaso o nulo nivel tecnológico; animales con bajo potencial genético (animales híbridos); tamaño del hato, entre 10 a 40 vacas; deficientes prácticas zootécnicas; infraestructura mínima y reducidos niveles de inversión (Martínez-González *et al.*, 2017).

En el segundo sistema (engorda de becerros), se manejan en dos esquemas de explotación: en pastoreo extensivo y estabulado (Palma, 2014). En el sistema engorda de becerros y finalización, bajo el esquema de pastoreo extensivo, se realiza en grandes extensiones de tierra y con carga animal capaz de mantener y llevar a los becerros a los 400 kg (González-Padilla y Dávalos-Flores, 2015). Mientras que en el estabulado (considerado como un sistema intermediario), es un sistema que capta becerros del sistema vaca-cría para engordarlos y finalizarlos bajo un esquema de producción tecnificado: infraestructura y prácticas zootécnicas especializadas, para producir animales más pesados, en menor tiempo y con menos alimento (Palma, 2014).

2.2 El sector pecuario en Michoacán

El sector pecuario en Michoacán es esencial en la economía del país. Este aporta, al inventario ganadero nacional, el 5.7% de bovinos, 2.8% de ovinos, 5.3% de caprinos, 1.7% de aves, 5.2% de porcinos y 1% entre abejas y guajolotes (SADER, 2019). Pero, las principales actividades económicas dentro del sector pecuario michoacano son; producción de bovinos carne, pequeña lechería familiar, producción de ovinos y caprinos y acuicultura; actividades sustentadas por la agricultura, específicamente por los cultivos de maíz (*Zea mays*), alfalfa (*Medicago sativa*) y sorgo (*Sorghum*) (Cuevas, 2019).

De acuerdo con el SIAP (2019), en el 2018 la ganadería del estado de Michoacán produjo 538 mil t de carne; cifra que representó 12 mil millones de pesos y el 10.1% del PIB estatal (INEGI, 2019); de este aporte económico, la producción de bovinos carne contribuyó con el 47%. Mientras que la porcicultura y la avicultura contribuyeron con 15 y 12%, respectivamente; el resto, lo aportó la producción de leche y los productos acuícolas (SIAP, 2019).

2.2.1 Producción de bovinos carne en Michoacán

La producción de carne de res en el estado de Michoacán representa un abanico de posibilidades para la alimentación de la población estatal y nacional (SADER, 2019); en este sentido, la producción de carne de bovino en el 2019 alcanzó 74 mil 600 t, lo que coloca al estado en 9^{no} lugar a nivel nacional (SIAP, 2019) y representó el 2.7% del PIB nacional. Producción que se desarrolla principalmente en la región Lerma-Chapala, región Tepalcatepec y Tierra Caliente (SIAP, 2019).

En los últimos años, en el estado de Michoacán se registró un incremento en la demanda de carne de res (Cuevas, 2019); demanda que se convirtió en un factor predisponente para la importación de este tipo de carne. Ello, debido a los acuerdos de exportación de becerros en pie para su finalización entre Michoacán, Estado Unidos y Canadá (SADER, 2019) y al precio/kg de bovino en pie (\$63.50) y costo de producción ($\$43.35 \pm 3.78$ pesos/kg de becerro en pie) (Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2022).

2.2.2 Características de los sistemas de producción de bovinos carne en el trópico michoacano

El sistema vaca-cría y la venta de becerros al destete, dentro de la producción de bovinos carne, es característico de las regiones tropicales (seco y subhúmedo) del Estado de Michoacán. Sistema que tiene como esquema básico de alimentación el pastoreo de los animales (Medina y Torres, 2018); por lo cual, los pastizales nativos y/o pastos introducidos son la fuente de alimentación de los bovinos (Cuevas (2019). Aspecto que representa, una de las múltiples debilidades de este sistema; puesto que, los aportes y deficiencias nutricionales en la alimentación de los rumiantes dependen de la calidad de los forrajes en los agostaderos (Medina y Torres, 2018) y una alimentación deficiente, se traducen en: baja fertilidad del hato, incapacidad para que las vacas logren un becerro por año y disminución de la rentabilidad del sistema (Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2021).

Medina y Torres (2018), sugieren que las vacas que muestran deficiencias nutricionales presentan periodos prolongados de anestro (ausencia de presentación de estro), pudiendo llegar hasta los 210 días de inactividad reproductiva (120 días abiertos) y cuyas

consecuencias se reflejan en la fertilidad ($\leq 40\%$), en el incremento del intervalo entre partos (14 a 16 meses entre un parto) y, con frecuencia, el intervalo entre partos logra superar hasta los 20 meses y en consecuencia menor cantidad de becerros/año.

Ortiz-Rodríguez *et al.* (2021), establecen que la mayoría de los productores no cuentan con las suficientes hectáreas para la alimentación de su ganado; por lo cual, el sistema vaca-cría, está obligado a vender becerros entre 7 y 8 meses de edad. En la Figura 2, se puede observar cómo se desarrolla el sistema de producción vaca-cría en el trópico y cuya base es el pastoreo. De acuerdo con dicha figura, las diferentes limitaciones del sistema vaca-cría están determinadas por el clima de la región, el cual provoca sequías prolongadas y escases de agua, aspectos que condicionan la productividad y rentabilidad del sistema (Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2021).

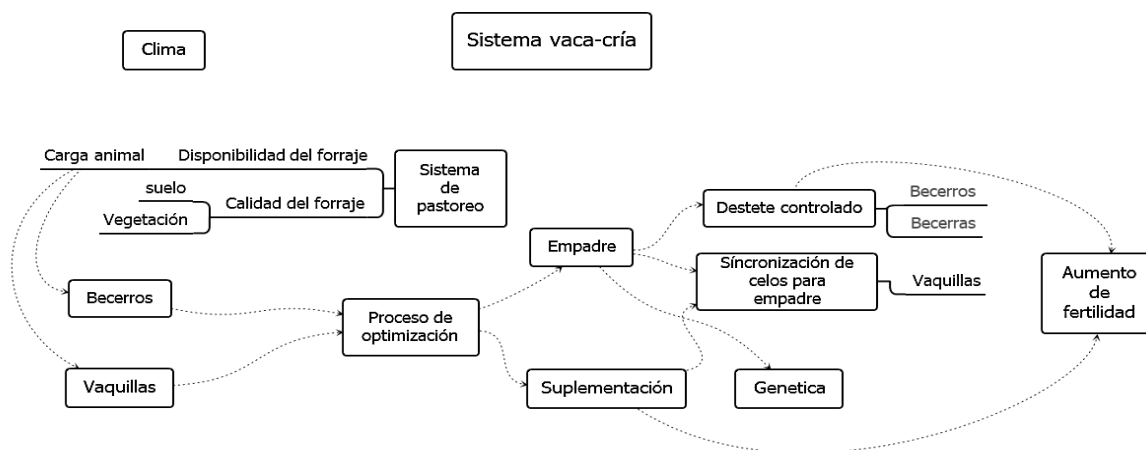


Figura 2. Caracterización esquemática del sistema vaca-cría en el trópico.

Fuente: adaptación a partir de Báez *et al.* (1999).

Para que el sistema vaca-cría se desarrolle de manera adecuada, debe pasar por procesos de optimización; en donde, es esencial la utilización de técnicas y tecnologías (prácticas zootécnicas, agroecológicas, nutricionales y reproductivas) para hacer eficiente el sistema (Martínez-González *et al.*, 2017).

2.2.3 Antecedentes de la vocación ganadera de la región Tierra Caliente del estado de Michoacán

La región de Tierra Caliente (TC), del estado de Michoacán, se ubica al sur del estado e incluye nueve municipios: Apatzingán, Buenavista, Churumuco, Francisco J. Múgica, Gabriel Zamora, La Huacana, Parácuaro, Tepalcatepec y Tumbiscatío (Guerra, 2017). Se caracteriza por tener precipitaciones pluviales de 600 a 1,100 mm al año, temperaturas entre 23 a 42°C y, seis a ocho meses de sequía (Rojas, 2011). Respecto a los periodos de sequías en la región TC Michoacán, estas cada vez son menos tolerables para los ganaderos de la región (Martínez-González *et al.*, 2017).

Históricamente, la ganadería de TC Michoacán inició con la apertura del ferrocarril en la zona, con ello, se abrió la oportunidad a nuevos mercados y la generación de haciendas más productivas en arroz, limón y ganado bovino. A partir del año 1934, la región mostró un acelerado crecimiento y desarrollo económico, lo que la convirtió en la región más importante en la producción de bovinos (Ayala-Ortega y Azevedo-Salomao, 2019).

En la actualidad, la región de TC de Michoacán posee los municipios más marginados, con rezago educativo y de vivienda; sus fuentes de empleo son nulas, tienen altos índices de migración y de inseguridad; aunado a todo ello, las condiciones agroecológicas inciden de manera negativa en el desarrollo social y económico de la región (Callejas-Juárez *et al.*, 2014). No obstante, la ganadería sigue siendo un respaldo económico para TC Michoacán; pero, es afectada por el rezago económico, cultural y de violencia social (Medina y Torres 2018).

2.3 Importancia y problemática de la ganadería familiar

La producción agrícola y pecuaria, a escala familiar, constituye la principal forma de producción de alimentos para la población a nivel mundial (FAO, 2014). Aspecto que se corrobora con los censos ganaderos, estos señalan que el 88% de las granjas (de los 570 millones de granjas que existen a nivel mundial) corresponden a granjas familiares (García-Navarro *et al.*, 2022).

En México, los sistemas de producción de proteína de origen animal, a escala familiar, producen el 80% de la carne que se consume a nivel nacional (FAO, 2014). En este sentido,

las políticas económicas del país tienden a favorecer la postura internacional sobre estos sistemas de producción: “la ganadería familiar es una alternativa para abastecer a la población de productos agropecuarios y estrategia para disminuir los índices de pobreza” (García-Navarro *et al.*, 2022). Martínez-González *et al.* (2017), sugieren que la ganadería a escala familiar en TC Michoacán se encuentra inmersa en escenarios adversos para su desarrollo: escaso o nulo financiamiento, personal con poca capacitación, insuficiente tecnología, sequías prolongadas y escasez de agua; aspectos que impactan la productividad y rentabilidad de estas unidades de producción (García-Navarro *et al.*, 2022).

2.4 Factores ambientales y genéticos que afectan la reproducción de los bovinos carne

Para Marín y Castaño (2019), los factores ambientales y genéticos afectan la producción de bovinos carne; puesto que estos, modulan el desempeño reproductivo y productivo del hato. En lo ambiental destacan la temperatura, viento, humedad, precipitación, radiación solar, luz, nubosidad y presión atmosférica y, adicionados a estos factores, la alimentación (calidad del forraje) del ganado, misma que puede definir la productividad de los sistemas de producción de carne de bovino. En el factor genético, se encuentran los estándares raciales, donde predomina la producción con animales híbridos (*Bos taurus* x *Bos indicus*); este genotipo se adapta y produce mejor bajo un ambiente tropical; ello, debido a la expresión del vigor híbrido (Rodríguez y Regino, 2019).

Las altas temperaturas ($\geq 30^{\circ}\text{C}$) que se registran en las regiones tropicales (INEGI, 2015) se asocian con el estrés calórico que presentan los bovinos; puesto que, el confort térmico de estos animales se encuentra dentro del rango de 6 a 21°C (Marín y Castaño, 2019; Sara-Pinilla, 2020). Fernández (2022), refiere que, los bovinos que se encuentran bajo estrés calórico producen un exceso de radicales libres (estrés oxidativo) y ello, compromete la fisiología de la reproducción; es decir, interfiere con la síntesis y liberación de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y el crecimiento y desarrollo folicular e incluso, en caso de estar gestante el animal, se afecta el desarrollo embrionario (Córdova *et al.* (2016).

El estrés calórico también afecta a las plantas y, en consecuencia, afecta la producción del forraje en las regiones tropicales. Bocco *et al.* (2021), establecen que durante la temporada

de sequía (diciembre a mayo) disminuye la producción y la calidad nutricional de los forrajes; condición que provoca, que el forraje no provea los nutrientes requeridos por el ganado en sus diferentes procesos fisiológicos: reproductivos y productivos (Estrada *et al.*, 2019).

En el trópico, los bovinos no solo se enfrentan a temporadas de sequía, también deben afrontar la incidencia de parásitos que afectan la salud y la producción de estos animales (Fernández, 2021). Dentro de las parasitosis del ganado bovino, la que más impacto causa en la producción son las garrapatas (*Rhipicephalus B. microplus*), ya que son vectores de la anaplasmosis y piroplasmosis; enfermedades que causan cuantiosas pérdidas económicas. Por otro lado, los endoparásitos gastrointestinales y pulmonares llegan a causar retardo en el crecimiento y la pubertad (Viedma, 2021 y Rojas *et al.*, 2021). Además de ello, las enfermedades causadas por bacterias o virus causan pérdidas económicas a los productores; debido a que los costos de producción se incrementan hasta un 20% por concepto de los tratamientos (Fernández, 2021).

En la ganadería del trópico no todo es una desventaja, en estas regiones, los sistemas de producción de bovinos producen con animales híbridos; puesto que, el ganado híbrido muestra un mejor desempeño productivo (peso y edad al destete). Ello, comparado con el comportamiento de las razas europeas sometidas a un ambiente tropical; puesto que, los animales de raza europea, en un ambiente tropical, no son capaces de mostrar su potencial genético (Magaña-Monforte *et al.*, 2019; Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2021).

2.4.1 El pastoreo como estrategia de producción en los sistemas de producción de bovinos carne en el trópico

La alimentación de los bovinos carne, centrada en el pastoreo, es esencial para la supervivencia de los sistemas de producción; pero, en el trópico, el forraje además de ser de baja calidad no siempre está disponible en abundancia (Barrios *et al.*, 2019); por lo que se debe recurrir a la optimización de este recurso (Ortiz-Rodríguez *et al.*, 2021). Muñoz-González *et al.* (2016), determinaron que la implementación de un exitoso sistema de pastoreo requiere considerar los siguientes factores: tipo de suelo, topografía, pastos

adaptables a las condiciones agroecológicas de la región y, carga animal/hectárea. Además, se debe considerar la época de sequía y la degradación de los suelos.

En la época de sequía, el forraje exhibe una menor producción de biomasa, debido a que está sometido a mayor estrés oxidativo por la privación de agua. Durante la época de sequía, las plantas cierran los estomas, reducen el ingreso de CO₂ y, por tanto, la tasa fotosintética. Además de ello, incrementa la saturación de O₂ y la fotorrespiración (Chaves-Barrantes y Gutiérrez-Soto, 2017; Barrios *et al.*, 2019). Los suelos, por otro lado, están degradados y son inviables para la eficiente producción forrajera (Muñoz-González *et al.*, 2016).

El trópico se caracteriza por su diversidad forrajera; pero, el valor de sus nutrientes depende, además de las características del suelo, de la época del año en la que se realiza el corte y el tamaño del brote. En diversas investigaciones (Salamanca, 2010; Sales, 2017; Sánchez-Sánchez, 2019) sobre la calidad nutrimental de los forrajes del trópico, se concluye que se debe complementar la dieta de los bovinos productores de carne, bajo el esquema de pastoreo, con minerales. En la Tabla 2, se muestran los requerimientos nutricionales/etapa productiva de los bovinos productores de carne (Barrios *et al.*, 2019).

Tabla 2. Requerimientos nutricionales (concentración en base seca) de los bovinos productores de carne de acuerdo con la etapa productiva.

Etapa productiva de la vaca	EM (Mcal)	PC%	P%	Ca%	Cu ppm
Vaquilla 7-12 meses (150 kg de PV)	2.49	13.1	0.27	0.59	10-40
Vaquilla 13-18 meses (350 kg de PV y ganancia de 0.750 kg)	2.49	9	0.21	0.28	10-40
Vaquilla 19-22 meses (450 kg de PV y ganancia de 0.750 kg)	2.49	8.1	0.19	0.22	10-40
Vacas último tercio de gestación (450 kg)	1.9	8.6	0.19	0.27	10-40
Vacas recién paridas (ganancia de 0.250 kg)	2.7	9.3	0.3-0.35	0.6-0.7	10-40

EM; energía metabolizable; Mcal= mega calorías PC= proteína cruda; P= fósforo; Ca=calcio; Cu= cobre.

Fuente: Adaptación a partir de Tablas NRC, 2000; Sales, 2017.

En las vacas recién paridas, se requiere de mayor aporte de minerales, por lo cual, la dieta debe de contener 0.3%-0.35% de P y 0.6%-0.7% de Ca (% en base seca). En relación con el

Cu, en todas las etapas se requieren de 10-40 ppm (Cerdas, 2013). De aquí, la importancia de conocer los aportes nutricionales de los forrajes que consumen los animales en pastoreo (Tabla 2). En la región de TC de Michoacán, los pastos forrajeros que predominan son: pasto llanero (*Brachiaria dictyoneura*), pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*), pasto grama (*Cynodon dactylon*) y pasto guineo (*Panicum maximum*) (Sales, 2017).

Como se puede identificar en la Tabla 3, el pasto zacatón y guinea no satisfacen los requerimientos nutrimentales de los bovinos productores de carne (Sosa-Montes *et al.*, 2021); de acuerdo con los valores consignados en la Tabla 3, estos pastos poseen 5.8 y 4.3 (% en base seca) de proteína cruda (PC) y 5.9 y 8.1 ppm de Cu, respectivamente. En fósforo (P), ambos poseen 1% (% en base seca). de este mineral.

Tabla 3. Composición nutricional (en base seca).de los principales pastos presentes en la región TC Michoacán.

Especie	EM (Mcal)	PC%	P %	Ca %	Cu ppm
Pasto llanero (<i>Brachiaria dictyoneura</i>) ^{1,3}	1.6	7.2	0.1	0.5	12.8
Pasto estrella (<i>Cynodon nlemfuensis</i>) ^{2,3}	2.0	8.8	0.2	0.8	11.3
Pasto grama (<i>Cynodon dactylons</i>) ^{4,1}	3.1	9	0.6	0.8	12.9
Pasto guinea (<i>Panicum maximum</i>) ^{5,3}	1.8	4.3	0.1	0.7	8.1
Pasto zacatón (<i>Muhlenbergia macroura</i>) ^{6,3,2}	2.2	5.8	0.1	0.4	5.9

EM; energía metabolizable; Mcal= mega calorías PC= proteína cruda; P= fósforo; Ca=calcio; Cu= cobre. Adaptación a partir de ¹Conrad *et al.*, 1974; ²Tudri *et al.*, 2002; ³Cabrera *et al.*, 2009; ⁴Khan *et al.*, 2007; ⁵Santiago-Figueroa *et al.*, 2016; ⁶Sosa-Montes *et al.*, 2021.

Aunado a la deficiencia nutrimental de los pastos, el 65% de la superficie del suelo destinada a la producción de forraje en México está degradada, debido al sobre pastoreo; aspecto que limita la crianza de bovinos. Ante este escenario, se implementan prácticas para restaurar o minimizar la degradación del suelo por la actividad ganadera, tales como un manejo eficiente de agostaderos, rotación de potreros e implementación del sistema silvopastoril (Ibarra *et al.* 2018).

2.4.2 Elementos de mejoramiento genético en bovinos productores de carne para efficientizar la productividad del ganado en el trópico

El mejoramiento genético es pilar fundamental para la ganadería, debido que, a través de ello, se han logrado identificar, seleccionar y mejorar algunos parámetros productivos en el ganado (Amaya *et al.*, 2020). Los programas de mejoramiento genético al realizar selección y cruce de los mejores individuos logran que la descendencia herede el carácter deseado. Así, en la producción de ganado de carne, se busca desarrollar características productivas que incrementen la producción y generen mayores ingresos al ganadero (Montes *et al.*, 2009). Sin embargo, los programas de mejoramiento genético (realizados para la ganadería) van encaminados, en su mayoría, a mejorar las siguientes características: peso al destete y peso final o peso al mercado; variables estas que poseen heredabilidad alta (≥ 0.34) (Jiménez, 2009).

Mientras que, en la selección y mejoramiento de las características reproductivas, se trabaja en variables como: intervalo entre partos y edad al primer parto; características de baja heredabilidad (≤ 0.15) (Estrada-León *et al.*, 2008 y Chin *et al.*, 2016) y por lo cual, es más difícil alcanzar las metas; puesto que, las características reproductivas están mayormente afectadas por aspectos ambientales (Montes *et al.*, 2009; Hidalgo-Moreno *et al.*, 2019).

En cuanto a la eficiencia reproductiva y productiva de las vacas, de acuerdo con aspectos raciales, Ortega (2021), indica que las razas especializadas logran mejores parámetros productivos; pero, su expresión no es la adecuada bajo ambientes tropicales. De aquí que, la utilización de los esquemas de cruzamiento entre razas para la obtención de animales híbridos se focaliza en los ambientes tropicales. En la ganadería del trópico, la importancia de los esquemas de mejoramiento genético, a través del cruzamiento exogámico, radica en la transmisión de genes a la siguiente generación que puedan expresarse bajo un ambiente tropical (húmedo, subhúmedo y seco) y que le otorgan ventajas adaptativas a la progenie. Aspecto que lleva implícito la transmisión y combinación de genes del *Bos indicus* y del *Bos taurus* (Garrick, 2011; Martínez-Rocha *et al.*, 2018).

Las ventajas de las razas cebuinas y sus diferentes cruces para la obtención de ejemplares híbridos se sustenta por la mayor tolerancia a las altas temperaturas del trópico y debido a

que estos híbridos manifiestan mayor resistencia a las garrapatas (principal problema de ectoparásitos en el trópico), ya que estos animales portan un gen (dominante) que es capaz de mostrar resistencia ante este ectoparásito (Osorio-Arce y Segura-Correa *et al.*, 2011).

2.5 Relación entre los parámetros nutricionales-parámetros reproductivos en bovinos productores de carne bajo condiciones del trópico (seco y subhúmedo)

En el diagnóstico reproductivo y productivo del hato, el intervalo entre partos y el periodo de días abiertos (se contabilizan los días desde el parto hasta que la vaca es servida por monta natural o inseminación artificial) son, entre las variables reproductivas, las de mayor importancia, seguido de la edad a la pubertad, edad al primer parto, tasa de preñez y número de partos (Torres, 2020). El intervalo entre partos y el periodo de días abiertos dependen, en gran medida, de la eficiencia del eje hipotálamo-hipófisis-ovario, aspecto que se resume en la eficiencia del ciclo estral (Carvajal *et al.*, 2020; Armenta-Carmona *et al.*, 2022).

En el ciclo estral de los bovinos tiene una duración de 17 a 21 días intervienen dos hormonas fundamentales: la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH); mismas que se encargan de la regulación del proceso de foliculogénesis y esteroidogénesis; además, de la participación de otras hormonas como la prostaglandina F2 α que es la encargada de la regresión del cuerpo lúteo (CL) al culminar la fase lútea (diestro y metaestro) (Tabla 4). Al igual que en otras especies domésticas, en la vaca, los signos de estro y la ovulación requieren, como condición primaria, la maduración del folículo de Graff (Perdomo *et al.*, 2017; González, 2020).

Tabla 4. Fases del ciclo estral de la vaca.

Fase	Días	Duración	Evento
Estro	0	10-12 h	Maduración folicular, altos niveles de estrógenos, FSH, pico de la LH y la receptibilidad de la hembra
Metaestro	1-3	5-7 días	Ovulación y formación del cuerpo hemorrágico
Diestro	5-18	10-15 días	Maduración del cuerpo lúteo e incremento de niveles de progesterona
Proestro	19-21	3 días	Regresión del cuerpo lúteo, incremento de estrógenos y de la frecuencia de los pulsos de LH

LH= hormona luteinizante y FSH= hormona folículo estimulante; Fuente: Perdomo *et al.* (2017), Aréchiga-Flores *et al.* (2019).

Para que ello suceda, las condiciones metabólicas de la vaca deben ser óptimas: con un balance energético positivo y condición corporal de tres puntos, si esto es así, el parámetro de días abiertos y el intervalo entre partos se logrará. La vaca muestra un comportamiento reproductivo eficiente, siempre y cuando, logre producir un becerro al año. Ello implica, un periodo de 55 a 70 días abiertos. Este parámetro (85 a 90 días abiertos), por lo general, no se logra en el trópico (Torres, 2020; Bustillo y Melo, 2020; Carvajal *et al.*, 2020), debido a los factores ambientales y genéticos mencionados anteriormente.

En los bovinos, la edad a la pubertad es uno de los principales parámetros reproductivos a considerar; puesto que en esta etapa inicia la vida reproductiva de la vaquilla y, como en todos los otros parámetros reproductivos, la alimentación es la que mayor impacto tiene sobre dicha variable. Sin embargo, la edad a la pubertad también depende de factores genéticos (Perdomo *et al.*, 2017 y Colazo y Mapletoft, 2017). En vaquillas híbridas descendientes de razas cebuinas (*Bos indicus*), la edad a la pubertad oscila entre 19 y 22.5 meses, con peso vivo entre 310 y 392 kg y ganancias diarias entre 544 y 580 g (De Vries *et al.*, 2010; Lendecky *et al.*, 2021).

Una vez iniciada la actividad reproductiva de la vaquilla, ésta es influida, en primera instancia, por el proceso de la gestación; puesto que, dicho proceso, requerirá mayor aporte nutricional para cubrir las necesidades de mantenimiento, crecimiento y desarrollo del producto; debido a esta situación, se procura un mayor balance energético y proteínico, para que la vaquilla tenga mejor condición corporal a la hora del parto (Granja *et al.*, 2012).

En cuanto al parámetro días abiertos, como ya se mencionó, es un indicador que establece el periodo en el que la vaca, después de parto, vuelve a quedar gestante (Revelo, 2013). Parámetro que implica: tiempo de involución uterina (34 días) y reinicio de la actividad ovárica (21 días); cuya sumatoria de tiempo entre la involución uterina y el reinicio de la actividad ovárica es de 55 a 70 días (periodo de transición); rango de tiempo que se considera como eficiencia reproductiva, puesto que dentro de este rango se lograría un becerro/vaca/año (Ramírez y Martínez, 2002).

El periodo de transición se caracteriza biológicamente por la lactancia del becerro, mantenimiento de la vaca y reinicio de la actividad reproductiva postparto (Sara-Pinilla,

2020). No obstante, en dicho periodo, la vaca presenta balance nutricional negativo y por ello, requiere incrementar el consumo de energía y minerales; incremento nutrimental para la producción de leche, mantenimiento y reinicio de la actividad reproductiva (Rúgeles, 2001).

En el caso del intervalo entre partos, este comprende el periodo de tiempo entre el parto y el siguiente parto, periodo influido directamente por los días abiertos. En la *Bos indicus*, los días abiertos llegan a contabilizar hasta 150 días; lo que implica, un intervalo entre partos de 24 a 36 meses (Báez *et al.*, 2007). Por último, el número de parto, este es un indicador reproductivo ligado directamente a la edad de las vacas y, en consecuencia, a la eficiencia reproductiva y productiva de estas. Así, por ejemplo, en las vacas de primer parto los pulsos de LH suelen ser menores; por lo cual, a esta edad (un parto), la vaca tiene reactivación ovárica tardía, debido a que el alimento que consume lo destina a su mantenimiento, crecimiento y producción de leche. Mientras que, en vacas multíparas (vacas de 3 a más partos), el consumo de alimento se destina a mantenimiento y producción de leche (Granja *et al.*, 2012).

Henao-Restrepo y González (2008), establecieron que la nutrición juega un papel importante dentro de la reproducción de los bovinos, debido a que el desempeño reproductivo de las vacas dependerá del estado nutricional en el que se encuentren. En este sentido, el efecto de la nutrición sobre los parámetros reproductivos es ampliamente reconocido y, como elemento de evaluación de esta relación, está la condición corporal (CC): reflejo del estado nutricional de los animales (Correa-Orozco y Uribe-Velásquez, 2010).

Tabla 5. Relación de la condición corporal con la capacidad reproductiva en bovinos.

Condición corporal	Capacidad reproductiva
CC1	Capacidad reproductiva nula y escasa capacidad para producir leche.
CC2	Capacidad reproductiva baja, tarda más tiempo en volver a entrar en estro después del parto. Probabilidad de preñez del 50 al 75 %.
CC3	Buen estado corporal y óptimo para alcanzar el estro. Probabilidad de preñez arriba del 92%.
CC4	Probabilidad de preñez muy alta.
CC5	Vacas con problemas metabólicos

CC1: condición corporal 1; CC2: condición corporal 2; CC3: condición corporal 3; CC4: condición corporal 4; CC5: condición corporal 5. Fuente: Henao-Restrepo y González, 2008.

Bajo los criterios de la CC, es posible evaluar a los bovinos en el tiempo; puesto que, la estimación de la CC es una herramienta sencilla y de fácil aplicación, tiene dos diferentes escalas de medición: de 1 a 9 puntos (Kabaleski, 2013) y de 1 a 5 puntos. Esta última escala, es la más utilizada (Fuentes, 2019). La ventaja de esta medición (CC de 1 a 5 puntos), es que permite, tanto a productores como especialistas, anticiparse a las situaciones del déficit nutricional (Tabla 5). Las vacas que entran en estro son animales que generalmente se encuentran en CC entre 3 y 4 puntos (Henao-Restrepo y González 2008 y Araujo *et al.*, 2020).

En la Tabla 5, se puede observar como la CC determina, hasta cierto punto, la actividad reproductiva de las vacas (independientemente de la raza); vacas con la CC de 1 a 2 provoca dificultad para presentar estro; por lo tanto, su capacidad de preñez será muy baja (Jiménez, 2015). En vacas que paren con CC de 3 o 4, la presentación del estro ocurre a los 55 días postparto (Bezdiček *et al.*, 2020). En el caso de la CC en vaquillas de primer parto, estas no logran mantener CC de 3 puntos (considerada como óptima) después del parto, debido a que el aporte nutricional del alimento debe canalizarse hacia: producción de leche, crecimiento y el mantenimiento del organismo; por ello, las vaquillas de primer parto, generalmente, presentan un anestro posparto más prolongado (Gómez-Rendón *et al.*, 2019).

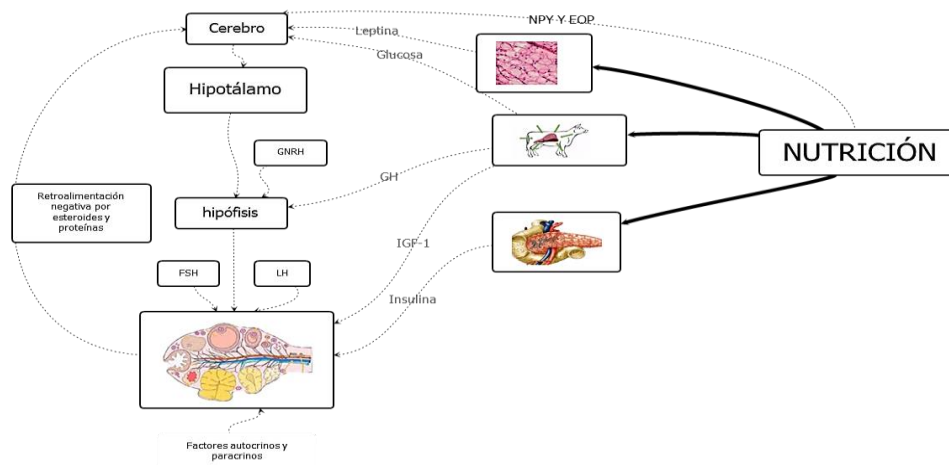
2.5.1 Relación nutrición-genotipo-días abiertos en ganado bovino bajo condiciones de trópico

Los bovinos bajo condiciones del trópico se enfrentan a condiciones ambientales que influyen en su comportamiento reproductivo y para solventar la problemática climática, los productores recurren a la utilización de animales *Bos indicus* y/o sus cruzas (*Bos indicus x Bos taurus*); puesto que, bajo condiciones tropicales, estos genotipos presentan un periodo de días abiertos relativamente cercanos a 150 días (Lendecky *et al.*, 2021). Suqueli (2019) y Ribeiro (2021), informan que en el trópico los días abiertos puede prolongarse hasta 278 días. Sin embargo, es un hecho que existen otros aspectos que incrementan dicho indicador en vacas bajo condiciones tropicales, tales como: deficiencias nutricionales, enfermedades metabólicas y el destete prolongado (Carvajal *et al.*, 2020).

El balance energético negativo, frecuente en vacas postparto, es un problema fisiológico y nutricional que disminuye la disponibilidad de glucosa en el organismo, lo que ocasiona que

la vaca utilice sus reservas corporales para contrarrestar esta disminución energética. Dicho fenómeno metabólico se refleja en pérdida de CC y en el incremento de los días abiertos (Ulloa, 2019). En síntesis, la pérdida de CC se debe al desbalance energético negativo posparto y ante ello, el organismo promueve el catabolismo de las reservas de tejido graso para obtener energía; ello a través de la transformación de carnitina a lipoproteínas (Ribeiro, 2021).

Otro aspecto que incrementa los días abiertos es el reinicio de la actividad ovárica, debido a la insuficiencia de síntesis y liberación de LH, misma que se asocia no solo a la deficiencia energética, sino, también a la deficiencia de minerales. Cabe destacar que, el balance energético negativo puede llevar a las hembras bovinas a un estado de anestro. Por ello, es necesario establecer las mejores estrategias nutricionales (Figura 3) (Perdomo *et al.*, 2017).



NPY= Neuropeptido Y; EOP= Neuropeptido; IGF-1= hormona que regula los efectos de la hormona del crecimiento; GH= Hormona del crecimiento.

Figura 3. Esquema de la interacción entre la nutrición y la reactivación ovárica.

Fuente: adaptación a partir de Perdomo *et al.*, 2017.

Otro factor que propicia el incremento de los días abiertos, además de los ya descritos con anterioridad es la época de parto, vacas que paren en época seca, tienden a presentar periodos de días abiertos más largos, debido a la escasez de forraje y a la deficiencia nutricional (Ninabanda, 2018).

2.6 Suplementación a la dieta de los bovinos productores de carne con minerales y su efecto en los parámetros reproductivos

Los minerales son nutrientes esenciales para los animales y estos influyen en la eficiencia reproductiva y productiva (Córdova *et al.*, 2021). La deficiencia de minerales afecta el eje hipotálamo-hipófisis-gónada y, su alteración se manifiesta en: infertilidad o subfertilidad, anestros prolongados, inadecuada función ovárica, retardo de la involución uterina, abortos y mortalidad embrionaria (Tabla 6) (Córdova *et al.*, 2021). Toquica y Otalvaro (2020), establecieron que, las principales deficiencias minerales que presenta el ganado bajo el esquema de pastoreo son el P y Cu; minerales que intervienen en la absorción de nutrientes y en funciones reproductivas. Sin embargo, la deficiencia de Cu es la de mayor impacto económico (Torres, 2018; Barrios, 2021).

Otro mineral de importancia en la reproducción de los bovinos es el zinc, elemental para que estos animales alcancen su madurez sexual (Córdova *et al.*, 2021; Cuesta *et al.*, 2018). En la Tabla 6, se identifican las alteraciones reproductivas en los bovinos ocasionadas por las deficiencias minerales.

Tabla 6. Alteraciones reproductivas en bovinos ocasionadas por deficiencias minerales.

Alteraciones reproductivas	Deficiencia mineral
Involución uterina retardada por retención placentaria y o metritis	Cobre, iodo, vitaminas A, D y E.
Anestro e inadecuado funcionamiento ovárico	Fósforo, calcio, cobre, cobalto, magnesio y vitamina D.
Servicios repetidos y reabsorción embrionaria	Fósforo, calcio, cobre, cobalto, magnesio, zinc, iodo y vitamina A.
Abortos	Magnesio, zinc, iodo y vitamina A

Fuente: Córdova *et al.* (2021).

2.6.1 Función y metabolismo del cobre

El Cu es mineral traza esencial en la nutrición de los rumiantes, participa en varios procesos fisiológicos (Martins *et al.*, 2020). Su función principal es la de promover la eliminación de radicales libres, por medio de la unión con diferentes enzimas. También estimula la actividad enzimática, es un reactivador de proteínas y optimiza la señalización celular (Lengua, 2021). La ingesta del Cu puede ser a través de los forrajes o de la suplementación en el alimento de los bovinos, es digerido con el proceso de fermentación en el rumen; en este proceso, el Cu

se une a las fuentes de azufre y forma sulfuro de cobre (Cu_2S) de esta manera son utilizados por los protozoos ruminales; sin embargo, estos microorganismos en ocasiones disminuyen en el rumen y, la concentración de Cu_2S se incrementa (Martins *et al.*, 2020).

En el proceso de absorción del Cu intervienen las metalotoninas II (metales divalentes), presentes en la mucosa intestinal. Éstas se unen al Cu_2S para poder ser transportado por el sistema circulatorio y unirse en el hígado a la albúmina (para convertirse en ceruloplasmina) o al glutatión y reingresar al torrente sanguíneo para funcionar como agentes coagulantes (Lengua, 2021; Suttle, 2022) (Figura 5). La absorción y metabolismo del Cu está afectada por el genotipo del individuo, tal como sucede con los bovinos de la raza Simmental, quienes son más vulnerable a la deficiencia de Cu (Suttle, 2022).

El Cu (unido a las metalotoninas (MT), dentro del torrente sanguíneo se auxilia de las proteínas citocromo 17 (COX17) para ingresar a la célula y coadyuvar en sus procesos respiratorios. De la misma forma, el Cu sale de la célula unido a la proteína ATP7A y se reincorpora al sistema sanguíneo en donde, las proteínas priónicas promueven su almacenamiento en el sistema nervioso central (SNC), músculo e hígado (pequeño depósito hepático) (Rosa, 2015). Desde el punto anatómico y fisiológico, en el rumen debe existir 8 mg/kg de peso vivo de Mo para que el Cu pueda absorberse (Suttle, 2022).

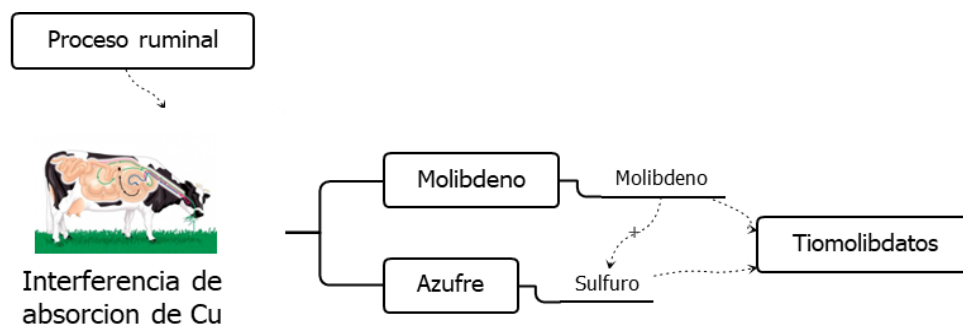


Figura 4. Esquematización de la formación de tiomolibdatos a partir del desequilibrio de azufre, molibdeno y cobre.

Adaptación a partir de Lengua, 2021.

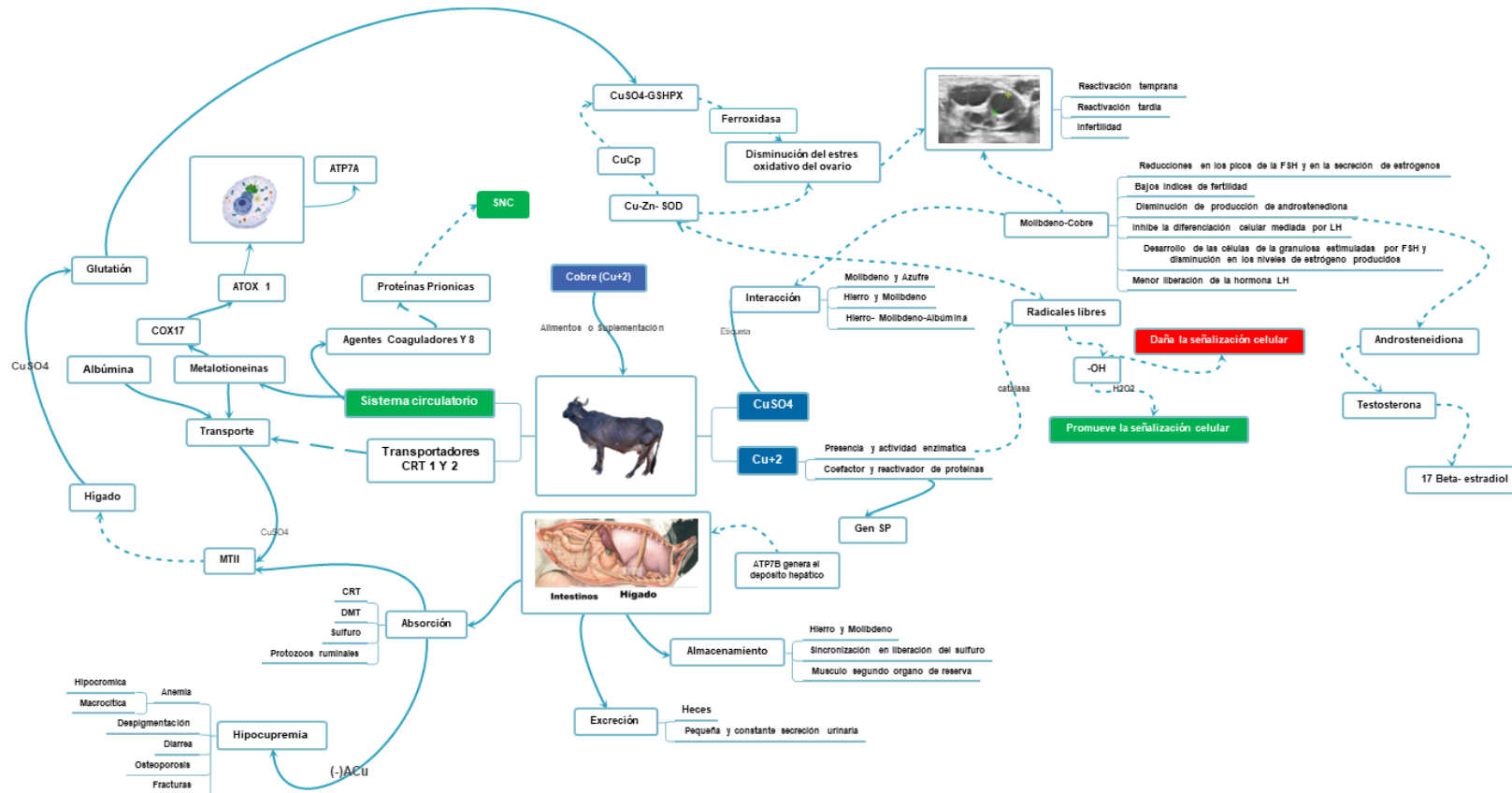


Figura 5. Esquema de la dinámica metabólica del cobre en bovinos.

Fuente: adaptación a partir de: Rosa y Mattioli, 2002; Huerta-Bravo, 2016; Rosa 2015 y Suttle, 2022.

No obstante, el almacenamiento de Cu depende del molibdeno y el hierro (Fe) (Figura 5). Sin embargo, el almacenamiento solo se logra, si existe sincronización entre la liberación del Cu_2S y las cantidades de Fe en el organismo. Si esto no ocurre, el almacenamiento se ve limitado y se desencadena mayor cantidad de tiomolibdatos, ya que éstos están formados por la unión de Mo y el S. Por tanto, si existe mayor presencia de estos dos elementos, se inhibe el almacenamiento de Cu. En lo que respecta a la excreción del Cu, esta se realiza a través de heces, bilis y orina (Rosa, 2015) (Figura 4).

La ausencia de la interacción Cu-Mo, dentro de los procesos reproductivos, provoca disminución de: FSH y LH; ocasiona bajos índices de fertilidad (Rosa, 2015). No obstante, la unión del Cu con CuCp (ceruloplasmina), Cu-zinc (Zn)-superóxido dismutasa (SOD) y selenio (Se)-glutatión peroxidasa (GPx, EC 1.11.1.9), evitan la oxidación del ovario; puesto que, la formación de nuevos folículos genera radicales libres $+\text{O}_2$ y es aquí, donde la unión Cu-Zn- SOD ejerce acción para degradar el $+\text{O}_2$ a H_2O_2 , (Figura 4) (Suttle, 2022).

Desde el punto de la zootecnia, existen dos tipos de hipocuprosis: primaria o simple, ocasionada por un bajo aporte de Cu en la dieta y, secundaria cuando el aporte de Cu a la dieta es el adecuado; pero, existen otros factores asociados a la dieta que interfieren con el aprovechamiento del Cu (Suttle, 2022). En el primer caso (hipocuprosis primaria) el Cu presente en el hígado llena los requerimientos ausentes en la ingesta; pero, al agotarse el almacenamiento hepático, los niveles de Cu en sangre disminuyen y se presentan los signos de la hipocuprosis: anemia, despigmentación, diarrea, osteoporosis y fracturas (Huerta-Bravo, 2016); aspectos estos, antagonistas de las funciones reproductivas.

2.6.1.1 Efecto del cobre en la reactivación ovárica temprana en bovinos productores de carne

En el sistema vaca- cría, la meta es lograr un becerro/vaca/año y, para lograr dicha meta, se requiere que el periodo de días abiertos sea corto y las vacas queden gestantes lo más pronto posible. Pero, si la nutrición no es la adecuada no es posible alcanzar dicha meta (Gómez-Rendón *et al.*, 2019). En este sentido, existe un efecto negativo sobre la reproducción cuando el aporte de minerales es inadecuado. Sin embargo, se debe profundizar en los aspectos de la relación Cu y reinicio de la actividad ovárica en los bovinos productores de carne.

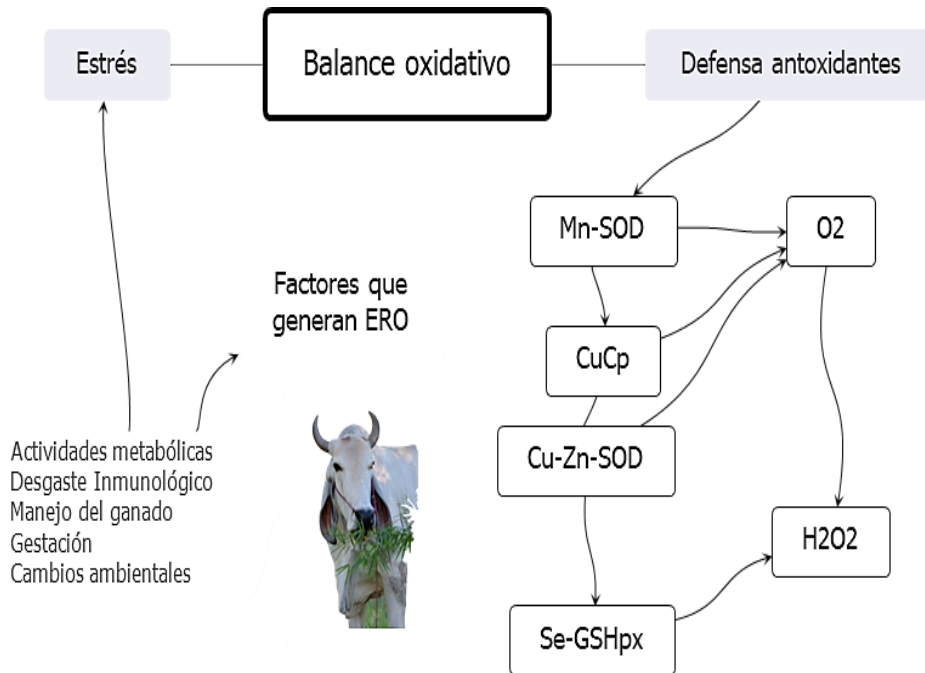
El Cu interactúa positivamente con el eje hipotálamo-hipófisis-ovario, específicamente, está implicado en la reducción del estrés oxidativo en el ovario (García *et al.*, 2006; Salamanca 2010; Pedroso *et al.*, 2014 y Gómez-Rendón *et al.*, 2019). Al respecto, el Cu al estar asociado con la disminución de estrés oxidativo del ovario posibilita un adecuado desarrollo de la dinámica folicular; la unión del Cu con el zinc-superoxidasa (Zn-SOD) provoca mayor síntesis y secreción de la hormona gonadotropina (GnRH), cuya acción se refleja en la modulación y liberación de FSH y LH (Rodríguez *et al.*, 2021). Además, establecieron que, el Cu regula la actividad de la enzima LOX lo que evita la disminución del estradiol (E2) en el ovario. Además, el Cu está asociado con el desarrollo del embrión y la señalización temprana de la gestación (Rodríguez *et al.*, 2021). En el organismo, la deficiencia de Cu explicaría la disminución de la concepción, ciclos anovulatorios y anestros asociados a la hipocuprosis (Gómez-Rendón *et al.*, 2019).

2.6.1.2 Estrés oxidativo en el ovario de la vaca por deficiencia de cobre

El estrés oxidativo en los animales es un problema latente en los sistemas de producción bovina, puesto que como ya se ha mencionado, este puede ocasionar fallas reproductivas, productivas e inmunológicas en los animales (Pedroso *et al.*, 2014). No obstante, los procesos oxidativos se encuentran siempre presentes en el organismo, esto es debido a los procesos metabólicos que demandan más energía, como la reproducción (estro, gestación, parto, amamantamiento de las crías); esta mayor demanda energética genera EROS capaces de dañar al propio organismo (Figura 6) (Rosa y Mattioli, 2002).

En el metabolismo, específicamente en el catabolismo, la degradación de la grasa corporal y la activación de mitocondrias para generar energía provoca la liberación de radicales libres; mismos que pueden ser inactivados por las enzimas antioxidantes unidas o asociadas con el Cu, Zn o Mo y la ausencia de alguno de estos micro minerales provoca daño oxidativo en el organismo (Pedroso *et al.*, 2014). Sin embargo, las SOD (específicamente Cu-Zn-SOD) (Rosa, 2015) se encargan de inactivar a las ERO, generadas por el metabolismo de la célula (Torres-Osorio *et al.*, 2019). Por otra parte, las CuCp impiden que el Fe libre en el organismo genere el ion hidroxilo (OH) ($Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + \cdot OH + OH^-$), quien es catalogado como parte de las ERO, pero el OH es el ion que más daño causa en el organismo (Rosa, 2015). En el ovario, el proceso de oxidación es continuo, debido a la generación de nuevos folículos;

pero, son combatidos por las SOD (Cu-Zn-SOD) para evitar que dañen la pared celular y ocasionen que el folículo explote. Este mismo mecanismo de defensa contra las ERO ocurre en la fase embrionaria, ya que la gestación incrementa la oxidación (Torres-Osorio *et al.*, 2019).



CuCp= ceruloplasmina; Cu-Zn- SOD = Cobre zinc- superóxido dismutasa; MN-SOD= Magnesio-superóxido dismutasa; o₂= oxígeno; H₂O₂= Peróxido de hidrogeno; SeGSHpx= selenio- glutatión peroxidasa. adaptación a partir de Rosa y Mattioli 2002.

Figura 6. Balance oxidativo.

2.6.1.3 Estrategias de suplementación de cobre en los sistemas de producción de bovinos carne bajo condiciones de trópico

Debido a los problemas reproductivos que causa la deficiencia de Cu en lo bovinos, en la actualidad existen diversas formas de suplementar este mineral a estos animales, pero la decisión de cómo implementarla dependerá del sistema de producción (Sánchez-Sánchez, 2019). Este puede ser de manera directa e indirecta; la indirecta, consta de la aplicación de Cu₂S sobre el suelo para que se refleje en los forrajes consumidos por el rumiante (Parada-Sánchez *et al.*, 2019). Pero, la aplicación (radicular o foliar) de Cu₂S provoca cambios en el

pH del suelo y ello, puede afectar la productividad del forraje y la cantidad de Cu presente en el mismo (Marchan, 2022).

Otra forma de cubrir los requerimientos de Cu en los bovinos incluye la adición del mineral en el agua de bebida, pero es una práctica peligrosa y poco común. La práctica más común son complementar la dieta con este mineral. Otras alternativas incluyen el uso de bolos intra ruminales con sulfato de cobre (CuSO_4) o carbonato de cobre (CuCO_3) u óxido de cobre (CuO) y la suplementación de Cu vía subcutánea (parenteral) con el uso de etilen diamino tetracetato (EDTA) de cobre o glicinato de cobre (Contreras, 2020). La ventaja de suplementar Cu mediante la vía subcutánea permite que el Cu no se una al Fe, Mn y Zn e interfieren con el metabolismo del Cu, tal como ocurre con la suplementación de Cu por vía oral. No obstante, la complejidad de las interrelaciones entre el Cu y otros minerales requiere de más investigación para establecer la idoneidad y las recomendaciones apropiadas para esta estrategia (Aparicio *et al.*, 2007).

3. Planteamiento del problema

La ganadería de la región de Tierra Caliente, en el estado de Michoacán está inmersa en un escenario tradicional de producción, caracterizado por un clima con recurrentes sequías poca tecnificación, y desvinculación con los mercados nacionales de producción cárnica (Estrada *et al.*, 2019). Estos factores traen consigo otros problemas que culminan en un inadecuado aprovechamiento de las pasturas para satisfacer el consumo de proteína y energía digestible para el ganado (Perdomo *et al.*, 2017), poca disponibilidad de agua en temporada de secas (diciembre a julio) para satisfacer las necesidades del ganado y los pastizales, incremento en la mortalidad de los animales y pérdidas económicas. Estos factores alteran el desempeño reproductivo y productivo del ganado ya que aumentan el número de días abiertos; 150 días hasta 278 días para lograr un becerro por vaca/año (Martínez-González *et al.*, 2017). Adicionalmente, la calidad nutricional de los forrajes del trópico no permite cubrir los requerimientos de minerales de los animales en pastoreo, específicamente de Cu (Gómez-Vázquez *et al.*, 2018), mineral esencial en la reactivación ovárica temprana en vacas postparto.

4. Hipótesis

La suplementación con Cu a 12ppm, a una dieta para vacas posparto (bajo condiciones de trópico subhúmedo), propicia temprana reactivación ovárica, dado que estimula la liberación y secreción de gonadotropinas y disminuye el estrés oxidativo del ovario.

5. Objetivos

5.1 Objetivo general

- Evaluar del efecto de la suplementación de la dieta con Cu a 12 ppm sobre el reinicio de la actividad ovárica en bovinos productores de carne bajo condiciones del trópico subhúmedo.

5.2 Objetivos particulares

- Determinar la actividad ovárica en vacas con suplementación y sin suplementación de Cu, en el día 111 postparto, mediante la ultrasonografía bajo condiciones del trópico subhúmedo.
- Determinar la reactivación ovárica a 111 días postparto en las vacas con suplementación y sin suplementación de Cu, mediante la ultrasonografía.
- Comparar del periodo de días abiertos en vacas con y sin suplementación de Cu bajo condiciones del trópico subhúmedo.
- Determinar la actividad ovárica en vacas con suplementación y sin suplementación de Cu, bajo condiciones del trópico subhúmedo mediante la concentración de cobre sérico.
- Determinar el efecto de la concentración de cobre sérico sobre la actividad ovárica, en vacas bajo condiciones del trópico subhúmedo con suplementación y sin suplementación de Cu.

6. Materiales y Métodos

El presente trabajo se realizó en el municipio de La Huacana, Michoacán, México, situado a 440 metros de altitud, con temperaturas oscilantes entre 20 y 30 °C, humedad del 54%, precipitación de 400 – 1000 mm, con variabilidad todo el año (INEGI, 2015). Para ello, se

utilizaron 10 vacas híbridas (Suizo x Cebú) próximas al parto, con un historial de 2 a 5 partos y sin antecedentes de problemas reproductivos. Con las 10 vacas se conformaron dos grupos ($n = 5$ vacas/grupo): grupo testigo (GT) y grupo experimental (GE); ambos grupos fueron sometidos al esquema de alimentación convencional (36.0 kg de silo vacas/día y 7.3 kg de rastrojo vacas/día). La diferencia fue que al GE se le suplementó la dieta con 80 g de mezcla mineral equivalente a 12ppm Cu vaca/día y fueron pesados los sobrantes. El alimento que se proporcionó fue *ad libitum* al igual que el pastoreo.

Las variables evaluadas en ambos grupos fueron: condición corporal (CC) al día 111 postparto, reinicio de la ovárica postparto (RAO), diagnóstico de gestación (DG), días abiertos postparto (DAPP), concentración de Cu sérico (CuS) en los días 35, 60, 80 y 100 postparto y, en el GE, se evaluó consumo de Cu (ppm) vacas/día.

La variable CC al día 111 postparto para cada vaca, se determinó mediante la técnica propuesta por Frasinelli *et al.* (2004). Las variables RAO y DG, fueron determinadas mediante la ultrasonografía, con un ultrasonido digital color Doppler ultrasound system, modelo E1V, marca SonoScape, transductor lineal 5 y 7.5 MHz. Referente a la variable DAPP, se obtuvo mediante el registro de la fecha de parto de cada vaca y a partir de ese momento se contabilizaron los días abiertos hasta la siguiente gestación (Egúsquiza, 2018). La fase experimental duró 180 días.

Para la determinación de CuS, se tomaron muestras sanguíneas (5ml/Vaca) en los días 35, 60, 80 y 100 postparto, dichas muestras fueron tomadas mediante la técnica de venopunción. Cada muestra fue depositada en tubos vacutainer mismos que fueron identificados con el número de la muestra e identificación de la vaca. Las muestras sanguíneas fueron centrifugadas a 3500 rpm durante 10 minutos, después se extrajo el suero del tubo vacutainer, y fueron colocados en viales de 1.5 mL, mismos que fueron identificadas con el número de la muestra e identificación de la vaca para ser almacenadas a -4°C (Micheloud *et al.*, 2021). La determinación de CuS fue mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica (Rodríguez *et al.*, 2021), con un espectrofotómetro de absorción atómica A700 marca Perkin Elmer con verificación de la curva estándar con un coeficiente de correlación de 0.999184. Para determinar el CuS, se pesó el sobrante por vaca/día por el rechazo

La información recabada durante la fase experimental fue analizada mediante correlaciones de Pearson con prueba de hipótesis a un $\alpha=0.05$, X^2 a un $\alpha=0.05$, para variables binomiales (RAO y DG) y mediciones repetidas utilizando el procedimiento de modelos de efectos fijos (SAS 9.4) (Chizzotti, *et al.*, 2015) y las diferencias entre grupos se obtuvieron a través de medias de mínimos cuadrados (LsMeans) a un $\alpha=0.05$. El modelo utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + SP_j + (G*SP)_{ij} + \beta_1(X_{ijk} - \bar{X}) + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = son las variables respuesta: DAPP.

μ = Promedio general

G_i = Grupo con el i-ésimo grupo: GT y GE.

SP_j = Sistema de producción con el j-ésimo sistema: 1 y 2

$(G*SP)_{ij}$ = Efecto fijo de la interacción del i-ésimo grupo con el j-ésimo sistema de producción.

β_1 = Coeficiente de regresión parcial para el efecto lineal del covariable número de parto.

$(X_{ijk} - \bar{X})$ = Efecto del covariable número de parto.

ϵ_{ijk} = Error aleatorio asociado a cada observación. $\epsilon_{ijk} \sim \text{NID}(0, \sigma^2e)$.

7. Resultados y Discusión

De acuerdo con los resultados de la suplementación con cobre (Cu) a 12 ppm, en la dieta de los bovinos productores de carne bajo condiciones de trópico subhúmedo, se encontró efecto de grupo ($p<0.05$) sobre condición corporal (CC) al día 111 postparto y días abiertos postparto (DAPP); mientras que, para el número de parto (NP) no se encontró efecto de grupo ($p>0.05$) (Tabla 7). La ausencia del efecto de grupo sobre el NP evidenció que ambos grupos iniciaron en igualdad la fase experimental en experiencia reproductiva (2.8 ± 0.5 y 2.4 ± 0.5 partos/vaca, para el GE y GT respectivamente).

Daza y Manrique (2022); Esperbent (2022), establecieron que vacas con 2 a 5 partos presentan mejor respuesta reproductiva respecto a hembras de 1^{er} parto. Dentro del rango de 3 a más partos, las vacas muestran un mejor comportamiento reproductivo, debido a que, el eje hipotálamo-hipófisis-ovario de estos animales esta mejor preparado (experiencia reproductiva) para afrontar los cambios ambientales; mientras que, las vacas de 1^{er} parto presentan más fallas reproductivas debido a: menor experiencia reproductiva y que requieren cubrir ciertas prioridades metabólicas, tales como: metabolismo basal, actividad crecimiento, reservas de energía y lactación. Por ello, canalizan los nutrientes del alimento para satisfacer dichas prioridades; mismas que, provoca un mayor desgaste fisiológico y menor respuesta reproductiva postparto en comparación con las vacas adultas (Lendecky *et al.*, 2021).

Tabla 7. Análisis de efectos fijos para variables reproductivas y productivas de vacas productoras de carne bajo condiciones de trópico subhúmedo.

F de V	NP		CC	Días abiertos
	GL	Pr > F	Pr > F	Pr > F
Grupo	1	0.5871	0.0035	<.0001

NP= Número de Partos; CC= Condición corporal al día 111; Días abiertos.

Respecto al efecto de grupo sobre la CC al día 111 postparto, se encontró que el GE presentó mayor CC (3 ± 0.11 puntos) en comparación con el GT (2.7 ± 0.11 puntos), promedios estos diferentes entre sí ($p < 0.05$) (Tabla 7). La condición corporal es básicamente una medida para estimar la cantidad de tejido graso subcutáneo en ciertos puntos anatómicos, o el grado de pérdida de masa muscular en el caso de vacas flacas con muy poca grasa: 1 unidad de cambio en la condición corporal es equivalente a 56 kg de peso corporal o 12.65% de grasa corporal. Por ello, la CC es una herramienta para evaluar y correlacionarse con parámetros reproductivos y productivos, asociados estos con la nutrición de la vaca (López, 2006; Henao-Restrepo y González, 2008).

Las vacas con CC de 3 a 4 puntos, presentan reinicio de actividad ovárica temprana; ello, en comparación con vacas que presentan $CC < 3$ o > 4 puntos (Correa-Orozco y Uribe-Velásquez, 2010; Gómez-Rendón *et al.*, 2019); las vacas con $CC < 3$ puntos, presentan anestro prolongado por pérdida de peso corporal postparto y vacas con $CC > 4$ puntos, también presentan anestro, pero ellas debido a que, presentan problemas metabólicos; puesto que, el consumo voluntario de alimento en vacas obsesas postparto es menor al comienzo de

la lactación y movilizan mayor cantidad de tejidos corporales por lo que la pérdida de peso después del parto es mayor que las que paren con CC de 3 puntos (López, 2006; Giraldo y Uribe, 2012). Al respecto, el GE presentó una CC de 3 puntos y la respuesta en la reactivación ovárica postparto fue mejor que en el GT (Figura 6).

De acuerdo con la Figura 7, las vacas del GE identificadas con el número 1 y 5 fueron diagnosticadas como anovulatorias y con folículos pequeños y medianos, las imágenes de ultrasonografía de dichas vacas sugieren que se encontraban en la primera oleada folicular. En cuanto a la vaca 2, esta vaca estaba gestante; la vaca 3, presenta gestación temprana y la vaca 4, se encontraba en ciclicidad.

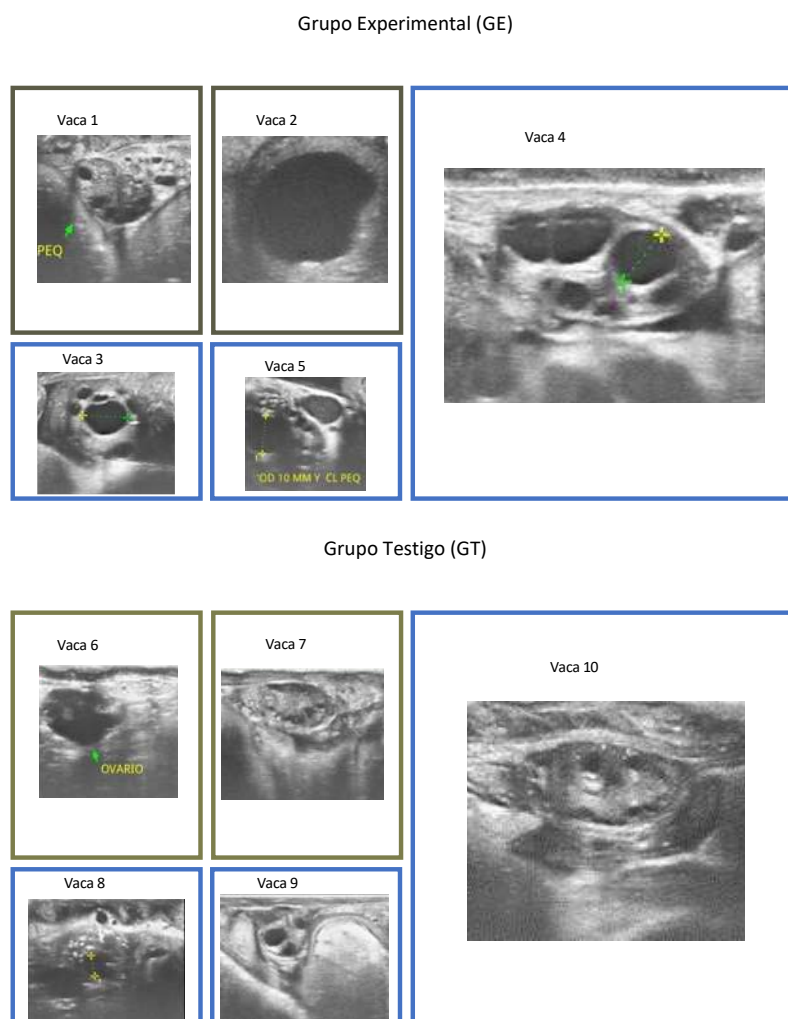


Figura 7. Ultrasonografía de vacas con suplementación con Cu (12 ppm) en la dieta, (vacas 1 a la 5) y sin suplementación de Cu (vacas 6 a 10) bajo condiciones de trópico subhúmedo.

En relación con la ultrasonografía del GT (vacas identificadas de la 6 a la 10), se encontró que las vacas 6, 8 y 9 se encontraban anéstricas (Figura 7); solo se logró identificar folículos pequeños menores de 5 mm; la vaca 2, se encontró en ciclicidad; en su ultrasonografía se pudo observar folículos pequeños, medianos y grandes. Por último, en la vaca 5, se observó en la ultrasonografía folículos medianos; lo que sugiere que esta vaca presentaba un estado anovulatorio.

En cuanto al porcentaje de vacas con RAO en el día 111 postparto, se observó 100% de las vacas con RAO en el GE vs 40% de RAO en el GT (Tabla 7) y en el diagnóstico de gestación (DG) al día 111 postparto, el GE presentó mayor ($p < 0.05$) porcentaje de vacas gestante (60.0%) en comparación con el GT (0.0% de vacas gestantes) (Tabla 8). El RAO es un evento biológico multifactorial en el que interviene la edad o NP, la nutrición y la salud del animal (Marín y Castaño, 2019; Bezdíček *et al.*, 2020). Sin embargo, los criterios para establecer el RAO de forma temprana se establecen en la CC postparto (Farfán y Díaz, 2021).

Tabla 8. Medias de mínimos cuadrados para las variables reproductivas y productivas de vacas bajo trópico subhúmedo.

Grupo	Número de parto		CC		Gestantes	Días abiertos	
	\bar{x}	E. E.	\bar{x}	E. E.	%	\bar{x}	E. E.
Experimental	2.4 ^a	0.5	3.0 ^a	0.11	60.0 ^a	112.8 ^a	2.50
Testigo	2.8 ^a	0.5	2.7 ^b	0.11	0.0 ^b	143.0 ^b	2.50

Literales ^{a, b} indican diferencias entre promedios dentro de columna.

El DG en vacas postparto brinda la oportunidad de contabilizar los DAPP/vaca y determinar el grado de eficiencia reproductiva del hato. Al respecto, se encontró que el GE presentó mejor comportamiento ($p < 0.05$) en DAPP (112.8±7.8 días abiertos), ello en comparación con el GT (143.0±0.0 días abiertos); la ausencia de variabilidad de los DAPP en el GT se debió a que la fase experimental de esta investigación culminó en el día 143 postparto, y en ese momento se calculó dicho valor.

De acuerdo con los resultados de CC, RAO, DG y DAPP, descritos anteriormente, se podría sugerir que la suplementación de la dieta de los bovinos con Cu (12 ppm vaca/día) es una alternativa viable en hatos del trópico subhúmedo. Sin embargo, los análisis estadísticos

respecto al efecto de la suplementación de la dieta con dicho mineral no respaldan con suficiencia, dicha sugerencia; aspecto que se discute a continuación.

Báez *et al* (2007), sugieren que las razas cebuinas y sus diferentes cruza se caracterizan por presentar un periodo amplio de días abiertos (≥ 150 días). Sin embargo, la adecuada dieta y la suplementación de esta con minerales, puede mejorar el comportamiento de los días abiertos postparto y el porcentaje de fertilidad. Al respecto, Bustillo y Melo (2020) y Gómez-Rendón *et al.* (2019), establecen que existen diferencias reproductivas y productivas de los bovinos con y sin suplementación de la dieta con minerales; los hatos con suplementación mineral disminuyen los días abiertos e incrementan la producción. Sin embargo, los investigadores citados, hacen referencia a la suplementación de la dieta de los bovinos con mezcla de minerales y no hacen referencia del uso exclusivo del Cu.

Tabla 9. Correlaciones de Pearson para variables reproductivas y productivas de vacas híbridas bajo trópico subhúmedo.

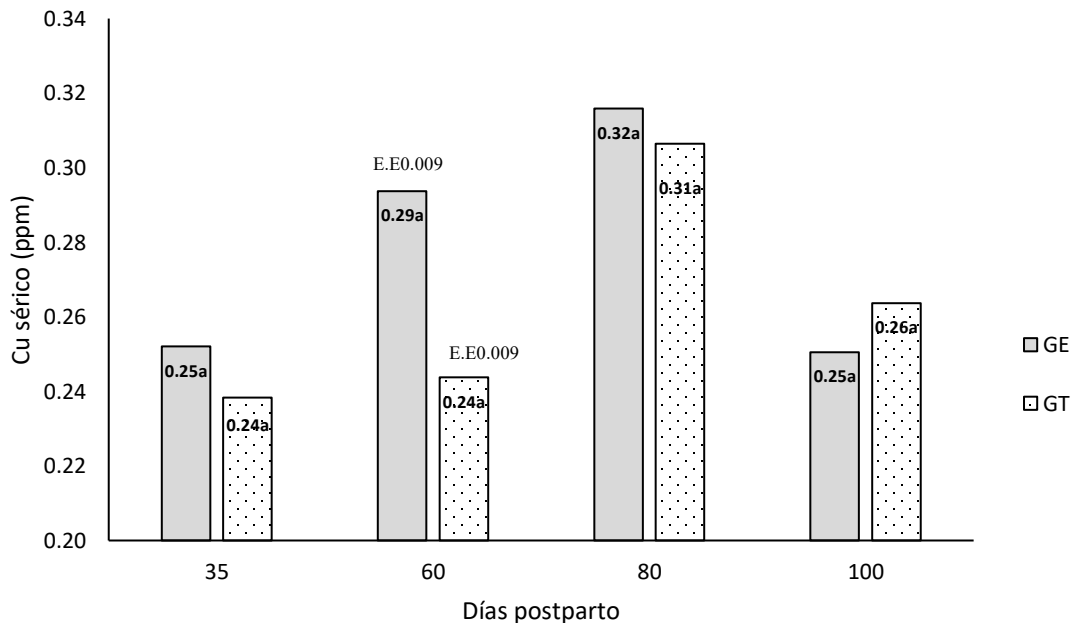
Grupo	NP	CC111	PBN	PB100	DAPP	DG111	CuS	
Grupo	1							
NP	0.20 ^{NS}	1						
CC111	-0.30 ^{NS}	-0.50 ^{NS}	1					
PBN	-0.60 ^{NS}	0.31 ^{NS}	-0.17 ^{NS}	1				
PB100	-0.68*	0.19 ^{NS}	0.50 ^{NS}	0.59 ^{NS}	1			
GDP	-0.64*	0.14 ^{NS}	0.53 ^{NS}	0.56 ^{NS}	0.99**			
DAPP	0.90**	0.21 ^{NS}	-0.21 ^{NS}	-0.60 ^{NS}	-0.58 ^{NS}	1		
DG111	-0.65*	-0.39 ^{NS}	0.26 ^{NS}	0.61 ^{NS}	0.40 ^{NS}	-0.75*	1	
CuS	-0.31 ^{NS}	0.15 ^{NS}	-0.01 ^{NS}	0.42 ^{NS}	0.21 ^{NS}	-0.26 ^{NS}	0.25 ^{NS}	1
DCF	-0.56 ^{NS}	-0.28 ^{NS}	0.37 ^{NS}	0.50 ^{NS}	0.64*	-0.65*	0.73*	0.23 ^{NS}

NP=Número de parto; CC111=Condición corporal al día 111 postparto; PBN=Peso del becerro al nacimiento; PB100=Peso de becerro al día 100; GDP= Ganancia diaria de peso; post-nacimiento; DAPP=Días abiertos postparto; Cu=Cobre; DCF=Dinámica de crecimiento folicular
NS=No significativo ($p>0.05$); *=Significativo ($p<0.05$); **=Altamente significativo ($p<0.001$).

La asociación entre las variables de análisis de la presente investigación con el CuS (Tabla 9) mostró que estas no fueron significativas ($p>0.05$); las concentraciones de CuS no se correlacionaron con el grupo ($r = -0.31$; $p>0.05$); tampoco hubo asociación entre CuS y diámetro folicular ($r = 0.23$; $p>0.05$). Al respecto, las investigaciones en torno al efecto de las concentraciones séricas de Cu establecen que, a mayor concentración de CuS indican que las vacas con respuesta temprana en el RAO canalizaron el Cu para esta actividad y en consecuencia se pueden encontrar concentraciones altas de CuS en estos animales (Muñoz-

González *et al.*, 2016). Pero, otros investigadores refieren que, no necesariamente las concentraciones altas de CuS muestran actividad ovárica temprana, puesto que el Cu puede verse interferido por las concentraciones séricas de Fe. Al respecto, se ha demostrado que mientras los forrajes poseen altas concentraciones de Fe esto impide un metabolismo correcto del Cu y en consecuencia puede comprometerse el periodo de días abiertos y la fertilidad de las vacas (Torres, 2018).

Respecto al efecto de grupo sobre CuS, no se encontró efecto ($p>0.05$), por lo que las concentraciones promedio de CuS/vaca fueron iguales ($p>0.05$) en ambos grupos (0.28 ± 0.009 y 0.26 ± 0.009 ppm de Cu/vaca, para el GE y GT, respectivamente). En relación con la anidación grupo(día) tampoco se encontró afectó sobre de los niveles de CuS ($p>0.05$). Es decir, conforme se midieron las concentraciones de CuS (35, 60, 80 y 100 días postparto) los valores de CuS/día se mantuvieron iguales ($p>0.05$) en ambos grupos (Figura 8).



Literales a, b indican diferencias entre promedios ($p>0.05$) dentro de día; E. E= error estándar.

Figura 8. Dinámica de la concentración de Cu sanguíneo de acuerdo con el día y grupo.

El fenómeno de ausencia de efecto de suplementación de Cu sobre las concentraciones del CuS ya ha sido reportado por otros investigadores; Muñoz-González *et al.* (2016) al

suplementar la dieta de cabras con Cu, observaron que los niveles de Cu sérico fueron más bajos que los encontrados en las cabras no suplementadas con dicho mineral. García *et al.* (2006), suplementó a un grupo de cabras con Cu en dos momentos: el primero, a partir del día 30 postparto y el segundo, al día 80 postparto y no encontraron diferencias ($p > 0.05$) en la concentración de Cu sanguíneo (13.5 ± 2.1 y 11.1 ± 1.0 mmol/L de Cu, respectivamente).

Muñoz-González *et al.* (2017) sugiere que, los consumos altos de Fe provocan disminución de la ceruloplasmina y ello limita el transporte de Cu; aspecto que se observa en animales en pastoreo (concentraciones altas de Fe y bajas concentraciones de Cu en sangre (López y Rodríguez, 2018). Torres (2018), determino que las concentraciones sanguíneas de Cu, especialmente en bovinos, están asociados a interacciones entre Cu y Mo, S y Fe; minerales que en esta investigación no se midieron.

Finalmente, la hipótesis de trabajo planteada en esta investigación (después de obtener, analizar y discutir los resultados) sobre el mejor comportamiento reproductivo en vacas suplementadas con Cu (12 ppm) no puede ser corroborada. Por ello, se requiere de continuar indagando este fenómeno tomar en consideración los elementos discutidos en la presente investigación.

8. Conclusión

La suplementación con Cu a 12 ppm a la dieta de vacas postparto mejora los parámetros reproductivos (reactivación ovárica y días abiertos). Sin embargo, aunque se establece la probabilidad de que dicho efecto sea causado por la suplementación, esta no demuestra la significancia ($p < 0.05$) contundente para probar el efecto del Cu sobre las variables reproductivas analizadas en esta investigación. A pesar de que existen niveles altos de Cu sanguíneo en vacas postparto, éstos no ocasionaron diferencias en el desarrollo folicular, aspecto que sugiere que las concentraciones altas de cobre circulante no necesariamente tienen efecto en la reactivación ovárica.

9. Consideraciones Generales

Con base a la investigación realizada se debe considerar en futuras investigaciones la biodisponibilidad de Cu y las relaciones de sinergismo o antagonismo con otros minerales, tales como: Fe, S y Mo. Así como, tener en cuenta los diversos métodos y formas de suplementación del cobre y su efecto que pudiese tener en la reproducción de bovinos productores de carne bajo condiciones de trópico subhúmedo.

10. Bibliografía

- Amaya, M. A., Martínez, S. R. y Cerón-Muñoz, M. (2020). Parámetros genéticos para crecimiento y reproducción en ganado Simmental mediante parentesco por pedigrí y genómico Revista MVZ Córdoba. 25, (1). Universidad de Córdoba, Colombia Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69361538015> DOI: <https://doi.org/10.21897/rmvz.1520>.
- Aparicio, R., Torres, R., Astudillo, L., Córdova, L. y Carrasquel, J. (2007). Suplementación parenteral con cobre sobre el peso de becerros en crecimiento. *Zootecnia Tropical*, 25(3), 221-224.
- Araujo, G. V. A., Quintero, T. A. L., Quintero, G. A. M. y Rodríguez, P. M. J. (2020). Medición de la condición corporal del ganado Cebú. Documentos de Trabajo ECAPMA. 4 (1). <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.3672>.
- Aréchiga-Flores, C., Cortés-Vidauri, Z., Hernández-Briano, P., Flores-Flores, G., Rochín-Berumen, F. y Ruiz-Fernández, E. (2019). Revisión: Función y regresión del cuerpo lúteo durante el ciclo estral de la vaca. *Abanico veterinario*, 9.
- Armenta-Carmona, J., Centurión-Castro, F., Magaña-Monforte, J. G., Delgado-León, R., Segura-Correa, J. C. y Aguilar-Pérez, C. (2022). Actividad ovárica y comportamiento reproductivo posparto de vacas de doble propósito con y sin suplementación en el trópico subhúmedo de México. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(1).
- Ayala-Ortega, L. A., y Azevedo-Salomao, E. M. (2019). Vivienda tradicional de Tierra Caliente: un estudio de caso regional michoacano. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 14(26), 97-114.
- Báez, G. A. D., Reyes, G. L., Melgoza, C. A. C., Márquez, M. R., y Carrillo, R. R. (1999). Características productivas del sistema vaca-cría en el estado de Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 37(2).

- Báez, G. M., Grajales, H. A. y Pérez, J. E. (2007). Caracterización del ciclo estral mediante perfiles de esteroides (progesterona, 17 β -estradiol) en la raza Costeño con cuernos (*Bos taurus*) en el trópico colombiano. *Livestock Research for Rural Development*. (19), (132).
- Barrios, P. J., Silva, N. J. y Larrauri, I. L. (2019). Estrategias de manejo del pastoreo y la suplementación de terneros sobre coberturas invernales. Tesis de grado. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía.
- Basurto, H. S. y Escalante, R. (2012). Impacto de la crisis en el sector agropecuario en México. *Economies UNAM*, 9(25), 51-73.
- Bezdíček, J., Nesvadbová, A., Makarevich, A. y Kubovičová E. Relationship between the animal body condition and reproduction: the biotechnological aspects. (2020). *Archives Animal Breeding*. 63(1): 203–209. doi: 10.5194/aab-63-203-2020.
- Bocco, G., Ramírez, Q. O., Larraín, A. Á., Castillo, B. S. y Morales, C. D. (2021). El estudio del impacto de la sequía en pequeñas comunidades rurales de México: Una revisión de la bibliografía. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, 26(1).
- Bustillo, P. J. C y Melo, C. J. A. (2020). Parámetros reproductivos y eficiencia reproductiva en ganado bovino. Factores determinantes de la eficiencia reproductiva en bovinos. Seminario de Profundización de Reproducción Bovina. 1-21.
- Cabrera, E. J. T., Sosa, R. E. E., Castellanos, R. A. F., Gutiérrez, B. Á. O. y Ramírez, S. J. H. (2009). Comparison of the mineral content in forage and soil of grazing areas in the state of Quintana Roo, Mexico. *Veterinarians México*, 40(2), 167-179.
- Callejas-Juárez, N., Aranda-Gutiérrez, H., Rebollar-Rebollar, S. y de la Fuente-Martínez, M. L. (2014). Situación económica de la producción de bovinos de carne en el estado de Chihuahua, México. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 133-139.
- Carvajal, M. A., Martínez, M. E. y Tapia, M. (2020) El ciclo estral en la hembra bovina y su importancia productiva. Osorno: Informativo INIA Remehue. (246) [En línea]: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/4022>.
- Castro-Samano, M. A., García-Mata, R., Parra-Insunza, F., Portillo-Vázquez, M., Márquez-Sánchez, I. y García-Sánchez, R. C. (2019). El mercado de la carne de bovino en México, considerados los factores externos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 16(1), 85-103.

- Cerdas, R. R. (2013). Formulación de raciones para carne y leche. desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica InterSedes: Revista de las Sedes Regionales. Universidad de Costa Rica Ciudad Universitaria Carlos Monge Alfaro, Costa Rica. 16(29) 128-153.
- Chaves-Barrantes, N. F. y Gutiérrez-Soto, M. V. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos: revisión bibliográfica. *Agronomía Mesoamericana*. 28(1):237-253. 2017 ISSN 2215-3608. doi:10.15517/am. v28i1.21903 [En línea] <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v28n1/43748637020.pdf>.
- Chin, C. R. D. C., Magaña-Monforte, J. G., Segura-Correa, J. C., Núñez-Domínguez, R., y Estrada-León, R. J. (2016). Índices de selección para el mejoramiento productivo de bovinos suizo europeo en México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3 (7), 1-9. [En línea] http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282016000100001&lng=es&tlng=es.
- Chizzotti, M. L., Machado, F. S., Valente, E. E. L., Pereira, L. G. R., Campos, M. M., Tomich, T. R. y Ribas, M. N. (2015). Validation of a system for monitoring individual feeding behavior and individual feed intake in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 98(5), 3438-3442.
- Colazo, M. G. y Mapletoft, R. (2017). Fisiología del ciclo estral bovino. *Ciencia Veterinaria*, 16(2), 31-46.
- Conrad, H. J., McDowell, L. R., Hugh, P. y Cunha, J. T. (1974). *Latín American Feed Tables*. University of Florida, Gainesville, Florida.
- Contreras, B. P. A. (2020). Consideraciones sobre la suplementación mineral para desbalances metabólicos-nutricionales en rebaños bovinos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias Centro Regional de Investigación Remehue. (64).
- Córdova, I. A., Iglesias, R. A. E., Ruiz, L. C. G., Guerra, L. J. E., Inzunza, C. J. F., Villa, M. E. A., Juárez, M. M. L., Gómez, V. A., Cansino, A. G., Olivares, P. J., Espinosa, C. R. y Velázquez, O. V. (2016). Consecuencias del estrés calórico sobre la reproducción del ganado vacuno. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 10(1), 89. http://dx.doi.org/10.5209/rev_RCCV.2016.v10.n1.52555.
- Córdova, I. A., Ruiz, L. G., Guerra, L. J. E., Villa M, E, A., Juárez, M. M. L., Gómez, V. A., Sánchez, A. P., Bedolla, C. C. J. y Olivares, P. J. (2021). Importancia de los minerales en la

- reproducción y productividad de los bovinos. Revista BM Editores, SA de CV, CDMX, México. [En línea] <https://bmeditores.mx/ganaderia/importancia-de-los-minerales-en-la-reproduccion-y-productividad-de-los-bovinos/>.
- Correa-Orozco, A. y Uribe-Velásquez, L. F. (2010). La Condición Corporal Como Herramienta Para Pronosticar el Potencial Reproductivo en Hembras Bovinas de Carne. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. (63). (2), (5607-5619). Universidad Nacional de Colombia Medellín, Colombia.
- Cuesta, M. M., García, D, J. R., Silveira P, E. A. y Pino, G. Y. (2018). Administración parenteral de un compuesto con cobre, zinc y manganeso en vacas lecheras. Revista electrónica de Veterinaria, 1695, 7504.
- Cuevas, V. J. (2019). Carne de res, oportunidades de crecimiento en México. [En línea] <https://www.ganaderia.com/destacado/Carne-de-res,-oportunidades-de-crecimiento-en-Mexico>.
- Daza, O. A. y Manrique, C. (2022). Factores que influyen en el desempeño del sistema doble propósito bovino en el Piedemonte Araucano (Colombia). Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, 69(2). DOI: <https://doi.org/10.15446/rfmvz.v69n2.103268>.
- De Vries, A., Olson, J. D. y Pinedo, P. J. (2010). Reproductive risk factors for culling and productive life in large dairy herds in the eastern United States between 2001 and 2006. Journal of Dairy Science 93: 613- 623. DOI: 10.3168/jds.2009-2573.
- Egúsquiza, G. J. R. (2018). Evaluación de la eficiencia reproductiva de vacas lecheras del centro de investigación y experimentación Santiago Antúnez de Mayolo-Tingua en el periodo 2012-2016. Tesis de grado. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Esperbent, C. E. (2022). Estrategias para fortalecer los rodeos y lograr vientres más fértiles. Ediciones INTA. 2 (1) 48-50. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/12176> <https://inta.gob.ar/documentos/revista-idea21>.
- Estrada, M. M., Sotelo, M. D. P., Maza, O. R. E. y Cruz, T. J. A. (2019). Uso de suplementos para bovinos productores de carne en pastoreo en el trópico de México. Revista Latinoamericana de Educación y Estudios Interculturales. ISSN: 2448-8801, 3(3), 90-99.

- Estrada-León, R. J., Magaña, J. G. y Segura-Correa, J. C. (2008). Parámetros genéticos para caracteres reproductivos de vacas Brahman en un ható del sureste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 8(3), 259-263.
- FAO, (2014). Transformación rural Pensando el futuro de América Latina y el Caribe. Recomendaciones de Política. Publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Santiago, Chile. [En línea] <http://www.fao.org/3/i3788s/i3788s.pdf>.
- Farfán, H. K. y Díaz, O. (2021). Incidencia de la condición corporal en la dinámica folicular en hembras bovinas. Seminario de reproducción asistida y genética animal. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia Universidad Cooperativa de Colombia, Sede Ibagué.
- Fernández, M. A. (2022). Estrés calórico: características y estrategias para defenderse con vacunos (carne o leche). *Revista del Foro de la Alimentación, la Nutrición y la Salud* 4 (1-2); 29-37. [En línea] <http://hdl.handle.net/20.500.12123/13241>.
- Fernández, N. A. (2021). Mejora en los sistemas de manejo reproductivo y productivo en ganaderías de bovino españolas: factores determinantes. Tesis inédita. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Veterinaria.
- Figuroa-Reyes, S., Rebollar-Rebollar, S., Rebollar-Rebollar, E., Rebollar-Rebollar, A. y Hernández-Martínez, J. (2019). Modelo de demanda para bovinos carne en el Centro Occidente de México 1996-2017. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 44, 138-145.
- Frasinelli, C. A., Casagrande, H. J. y Veneciano, J. H. (2004). La condición corporal como herramienta de manejo en rodeos de cría bovina. EEA 2250 San Luis.17. Información técnica N° 168 ISSN 0327-425X.
- Fuentes, R. J. M. (2019). Condición corporal en bovinos productores de carne. *Revista BM Editores*, SA de CV, CDMX, México. [En línea] <https://bmeditores.mx/ganaderia/condicion-corporal-en-bovinos-productores-de-carne/>.
- García, J., Cuesta, M., Pedroso, R., Gutiérrez, M., Mollineda, A. y Figueredo, J. (2006). Efecto del cobre sobre la reproducción en novillas lecheras de Cuba. *Revista MVZ Córdoba*. 11(2). <https://doi.org/10.21897/rmvz.442>.
- Garrick, D. J. (2011). The nature, scope, and impact of genomic prediction in beef cattle in the United States. *Genetics Selection Evolution*. 43(17):1-11.

- Giraldo, A. D y Uribe, V. L. F. (2012). Estrategias para mejorar la condición corporal postparto en vacas de carne. *Biosalud*, 11(1), 71-89. [En línea] <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/biosalud/article/view/4733>.
- Gómez-Rendón, J., Del Campo, M. y González-Tous, M. (2019). Algunas anotaciones sobre la importancia del cobre en la reproducción bovina. *Revista Colombiana De Ciencia Animal*, 11(1). <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n1.2019.716>.
- Gómez-Vázquez, A., Pinos-Rodríguez, J. M., Juárez-Lagunes, F. I., Govea, A., Córdova, A., Cruz, A. y Chay, A. (2018). Influencia del suplemento con levadura mineralizada sobre el rendimiento del crecimiento y la digestión en novillos en praderas con pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*). *Agrociencia*, 52(Especial), 89-95.
- González, M. X, (2020.). Cambios endócrinos, ováricos y uterinos en vacas para carnes subfértiles. Udelar. Tesis de maestría. Facultad de Veterinaria. Universidad de la República.
- González-Padilla, E. y Dávalos-Flores, J. L. (2015). Estado del Arte sobre Investigación e Innovación Tecnológica en Ganadería Bovina Tropical-Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, DF, 272. 1ed. 41.
- Granja, Y. T., Cerquera, J. G. y Fernández, B. O. (2012). Factores nutricionales que interfieren en el desempeño reproductivo de la hembra bovina. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4(2), 458-472.
- Guerra, M, E. (2017). La violencia en Tierra Caliente, Michoacán. 1940-1980. Estudios de historia moderna y contemporánea de México, (53), 59-75. [En línea] <https://doi.org/10.1016/j.ehmc.2017.01.004>.
- Henao-Restrepo, G. y González, C. V. Y. (2008). Relación de la variación del peso vivo y de la condición corporal con la dinámica folicular posparto en vacas cebú primerizas. *Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín*, 61, (1), 4394-4399.
- Hidalgo-Moreno, J. Á., Núñez-Domínguez, R., Domínguez-Viveros, J., Ramírez-Valverde, R. y Rodríguez-Almeida, F. (2019). Asociación genética del índice de productividad anual con características reproductivas y de crecimiento en bovinos productores de carne. *Agrociencia*, 53(8), 1203-1220.

- Huerta- Bravo, M., (2016). Alimentación y suplementación mineral. Engormix.com. Posgrado en Producción Animal, Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. www.produccion-animal.com.ar.
- Ibarra, F. F., Martín, R. M., Moreno, M. S., Ibarra, M. F. y Retes, L. R. (2018). Cambios de vegetación y costos asociados con el continuo sobrepastoreo del ganado en el pastizal mediano abierto de Cananea, Sonora, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 42, 855-866.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía e Informática. (INEGI) (2019). Temas de Ganadería.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía Informática. (INEGI) (2015). Prontuario de información Geográfica Municipal. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/16/16035.pdf.
- Jiménez, A. (2015). Relación entre cambios de peso o de condición corporal y fertilidad en vacas de leche. *Albéitar: publicación veterinaria independiente*, 183: 17.
- Jiménez, R. A. (2009). Componentes de (Co) varianza genética para características de composición corporal, área de ojo del lomo y grasa dorsal medidos mediante ultrasonido en la raza Brahman. Tesis. Universidad Nacional De Colombia Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Departamento de Ciencias para la Producción Animal.
- Kabaleski, C. D. (2013). Condición corporal en ganado de carne. Sitio Agropecuario Animal. INTA, pag, 1-5.
- Khan, Z. I, Ashraf, M., Ahmad, K., Mustafa, I. y Danish, M. (2007). Evaluation of micro minerals composition Of different grasses in relation to Livestock requirements. *Pak. J. Bot* 39 (3), 719-728.
- Lendechy, S. V. H., Perezgrovas Garza, R. A., Ahuja Aguirre, C., Montiel Palacios, F., Peralta Torres, J. A. y Segura Correa, J. C. (2021). Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas productivos con bovinos criollos en Campeche, México. *Acta Universitaria* 31, e3102. doi. <http://doi.org/10.15174.au.2021.3102>.
- Lengua, D. D. (2021). Patologías asociadas a la deficiencia de cobre y zinc que afectan al ganado bovino. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Córdoba. Monografía previa a la obtención del título de especialista en producción bovina tropical.
- López, E. P. y Rodríguez, D. C. A. (2018). Cuantificación por absorción atómica de Cu, Fe y Zn en alcohol destilado y agua. *Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 387-396.

- López, H. D. (2018). Evolución de la economía mexicana en el periodo 1990-2017 y opciones de política para el crecimiento. *Economía Informal*, (413), 16-31.
- López, J. F. (2006). Relación entre condición corporal y eficiencia reproductiva en vacas Holstein. *Facultad de Ciencias Agropecuarias* 4(1) 78-86.
- Magaña-Magaña, M. Á., Leyva-Morales, C. E., Alonzo-Solís, J. F. y Leyva Pech, C. G. (2020). Indicadores de competitividad de la carne bovina de México en el mercado mundial. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(3), 669-685.
- Magaña-Monforte, J. G., Segura-Correa, J. C., Aké-López, J. R., Montes-Pérez, R. C. y Estrada-León, R. J. (2019). Importancia de los Recursos Genéticos Animales para la Eficiencia de los Sistemas de Producción Bovina en el Trópico Mexicano. *Agroecosistemas Tropicales*, 390.
- Mapa de los climas de México. [En línea]: <https://www.mapademexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/02/mapa-de-climas-de-mexico.jpg>.
- Marchan, C, B. J. (2022). Control de *Phytophthora sp* usando sulfato de cobre pentahidratado a la parte aérea y microorganismos benéficos al suelo, en el cultivo de “cacao” *Theobroma cacao* L. Tesis. Universidad Nacional de Tumbes.
- Marín, V. S. y Castaño, C. S. (2019). Efecto del destete escalonado sobre la ganancia de peso en terneros mestizos en Puerto Berrío, Antioquia. Tesis de grado. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Martínez-González, J. C., Castillo-Rodríguez, S. P., Villalobos-Cortés, A. y Hernández-Meléndez, J. (2017). Sistemas de producción con rumiantes en México. *Ciencia Agropecuaria*, (26), 132-152.
- Martínez-Rocha, R. E., Ramírez-Valverde, R., Núñez-Domínguez, R. y García-Muñiz, J. G. (2018). Parámetros y tendencias genéticas de variables de crecimiento para bovinos Romosinuano en México. *Nova Scientia*, 10(21), 310-325.
- Martins, K. P. F., Padilha, V. H. T., Damasceno, T. K., Souza, M. A., Silva, E. M. S., Ribeiro, M., Pereira, A. H. B y Colodel, E. M. (2020). Intoxicação crônica por cobre em bovinos de corte no Estado de Mato Grosso, Brasil. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 40(9), 651-661.
- Medina, R. E. y Torres, O. J. R. (2018). La producción pecuaria en la región sierra - costa del estado de Michoacán. La exportación como alternativa ante las fisuras del mercado interno. *Realidad económica*. 129-139. [En línea]

- https://www.realidadeconomica.umich.mx/index_files/la_produccion_pecuaria_en_la_region_sierra_costa_9.pdf.
- Micheloud, J., Martínez, G. M., Araoz, V., Suarez, V. H., Rosa, D. E. y Mattioli, G. A. (2021). Niveles séricos de minerales en hembras bovinas en un establecimiento de la región del Chaco semiárido salteño. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 47(1), 134-139.
- Montes, V. D., Barragán, H. W. y Vergara, G. O. (2009). Parámetros genéticos de características productivas y reproductivas para ganado tipo carne en Colombia. *Revista Colombiana De Ciencia Animal*. 1(2), 302–318. <https://doi.org/10.24188/recia.v1.n2.2009.374>.
- Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., Lara, B. A., Rangel, S. R. y Rosa, A. J. L. (2016). Producción de materia seca de forrajes en condiciones de trópico húmedo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(SPE16), 3329-3341.
- Muñoz-González, J. C., Huerta-Bravo, M., Ramírez-Valverde, R. y González-Alcorta, M. J. (2017). Perfil mineral en agua, suelo, forraje y suero sanguíneo de ovinos en Tlaxcala, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12), 443-451.
- National Research Council. 2000. Nutrients requirements of beef cattle. Seventh revised edition. The National Academic Press. Washignton, D.C. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=11653
- Ninabanda, J, J. (2018). Impacto del balance energético negativo en vacas lecheras tratadas con somatotropina recombinante bovina. *Revista Veterinaria*, 29(1), 68-72.
- OCDE-FAO Agricultural Outlook 2016-2025, 2017-2026 y 2018-2027. [En línea] https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=HIGH_AGLINK_2018.
- Ortega, M. M. F. (2021). Resistencia genética a *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en bovinos de raza criollo argentino. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata.
- Ortiz-Rodríguez, R., Garcia-Fuerte, R. M., Bayuelo-Jiménez, J. S., García-Escalera, J. A., Juárez-Caratachea, A., y Gutiérrez-Vázquez, E. (2022). Limitantes de la unidad estratégica de negocio en la pequeña empresa ganadera del trópico subhúmedo Michoacano, México. *Revista Científica De La Facultad De Ciencias Veterinarias De La Universidad Del Zulia*, 32, 1-8. <https://doi.org/10.52973/rcfcv-e3211>.

- Ortiz-Rodríguez, R., García-Fuerte, R. M., Gutiérrez-Vázquez, E., Juárez-Caratachea, A., y Pérez-Sánchez, R. E. (2021). Limitantes de la pequeña empresa ganadera del trópico subhúmedo michoacano para maximizar sus recursos escasos a través de la producción y venta de becerros destetados al año. *Revista Científica del Instituto Iberoamericano de Desarrollo Empresarial*, 17.
- Osorio-Arce, M. M. y Segura-Correa, J. C. (2011). Sustentabilidad de los sistemas de producción bovina en el trópico: mejoramiento genético. *Livestock Research for Rural Development*, 23, 8. <http://www.lrrd.org/lrrd23/8/osor23180.htm>.
- Palma, G. J. M. (2014). Escenarios de sistemas de producción de carne de bovino en México. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 18 (1), 53-62 Universidad de Colima, México.
- Parada-Sánchez, J. E. y Mora-Luna, R. E. (2019). Suplementación con bolos intra-ruminales de cobalto, cobre y selenio en novillas Brahman en la región suroeste de Venezuela. *Livestock Research for Rural Development*. (31), 141.
- Pedroso, R. S., González, N. C. y Roller, F. G. (2014). Efecto de la suplementación con cobre en la reproducción de la hembra bovina en pastoreo. *La Técnica*, (13), 26-31.
- Perdomo, C. M. F., Peña, B. L. F., Carvajal, Y. J. D. y Murillo, S. L. (2017). Relación nutrición-fertilidad en hembras bovinas en clima tropical. *Revista Electrónica de Veterinaria*. 18 (9) 1-19. Veterinaria Organización. Málaga, España.
- Ramírez, R. M. D. y Martínez, S. R. (2002). Caracterización de la involución uterina y la reactivación ovárica posparto en la hembra bovina utilizando ultrasonido de tiempo real. Tesis. Escuela Agrícola Panamericana.
- Revelo, L. G. A. (2013). Evaluación del desempeño reproductivo del hato lechero de la Hacienda "Sandial" localizada en el cantón Montufar, provincia del Carchi en el período 2011-2013. oai:repositorio.usfq.edu.ec:23000/2787 (24).
- Ribeiro, E. R. (2021). La importancia de la nutrición en la eficiencia reproductiva de las vacas nodrizas. *Ganadería, Editorial Agrícola*. (133), 28-29.
- Rodríguez, A. M., López Valiente, S., Mattioli, G. A. y Maresca, S. (2021). Efectos de la inyección de cobre en vacas Angus al final de la gestación sobre el crecimiento fetal y posnatal de sus crías. *Research in Veterinary Science* (139)11–17. Ediciones INTA.

- Rodríguez, S. J. K. y Regino, A. L. F. (2019). Indicadores fisiológicos y medioambientales como predictores del estrés térmico en el ganado blanco orejinegro (BON) de la Universidad de Cundinamarca. Tesis doctoral. Universidad de Cundinamarca.
- Rojas M, C., Loza R, E., Rodríguez C, S. D., Figueroa M, J. V., Aguilar R, F., Lagunes Q, R. E., Morales, A. J. F., Santillán, F. M. M., Socci, E. G. A. y Álvarez M, J. A (2021). Antecedentes y perspectivas de algunas enfermedades prioritarias que afectan a la ganadería bovina en México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 12, 111-148. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5848>.
- Rojas, S. L. A. (2011). Probabilidad de adopción de tecnologías apropiadas para los ganaderos de la región de Tierra Caliente, Michoacán. Tesis de maestría. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Rosa, D. E. (2015). Efecto del cobre durante la maduración de ovocitos bovinos: impacto sobre el desarrollo embrionario preimplantacional. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata.
- Rosa, D. E. y Mattioli, G. A. (2002). Metabolismo y deficiencia de cobre en los bovinos. *Analecta Veterinaria*, 22.
- Rúgeles, C. (2001). Interrelaciones entre nutrición y fertilidad en bovinos. *Revista MVZ Córdoba*, 6 (1), 24-30.
- Salamanca, A. (2010). Suplementación de minerales en la producción bovina. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 11(9), 1-10.
- Sales, F. (2017). Importancia de los minerales para la alimentación de bovinos en Magallanes. Informativo. Punta Arenas: Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuaria. Informativo N° 77.
- Sánchez-Sánchez, V. H. (2019). Dos concentraciones de cobre en la digestión de nutrientes y emisión de metano entérico en bovinos. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados.
- Santiago-Figueroa, I., Lara-Bueno, A., Miranda-Romero, L. A., Huerta-Bravo, M., Krishnamurthy, L. y Muñoz-González, J. C. (2016). Composición química y mineral de leucaena asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(SPE16), 3173-3183.

- Sara-Pinilla, M. A. (2020). Efecto del estrés calórico en la reproducción bovina. Tesis de grado. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. [En línea] <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/3410>.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER), (2019). Expectativas de producción de carne. [En línea] <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/reporta-sader-expectativas-de-produccion-2019-de-carne-en-canal-de-siete-millones-041-mil-toneladas-representa-1-9-de-crecimiento201953#:~:text=La%20Secretar%C3%ADa%20de%20Agricultura%20y,al%20cierre%20preliminar%20de%202018>.
- Servicio de la información agropecuaria (SIAP). (2019). [En línea] <https://www.gob.mx/siap>.
- Servicio de la información agropecuaria (SIAP). (2020). [En línea] <https://www.gob.mx/siap>.
- Sosa-Montes, E., Mendoza-Pedroza, S. I., Huerta-Prado, L. A., González-Cerón, F., Silva-Luna, M. y Bárcena-Gama, J. R. (2021). Composición nutricional de seis gramíneas tropicales del estado de Jalisco, México. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 8(II). <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2938>.
- Suqueli, G. M. F. (2019). Análisis genético de la precocidad sexual en hembras Brahman (*Bos primigenius indicus*). Tesis doctoral. Repositorio Institucional CONICET Digital.
- Suttle, N. F. (2022). Mineral nutrition of livestock. 5ta ed. MPG Books Group: London, UK, 2010; p. 256. Cabi.
- Toquica, D. M. L. y Otalvaro, P. D. L. (2020). Influencia de los minerales en procesos reproductivos en hembras bovinas. Tesis doctoral. Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ciencias de la Salud, Medicina Veterinaria y Zootecnia, Ibagué.
- Torres, A. V, F. (2020). Análisis costo beneficio de la implementación de tecnologías para la mejora de parámetros reproductivos y productivos en bovinos en el trópico húmedo. Tesis doctoral Universidad Veracruzana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Región Veracruz.
- Torres, L. M. E. (2018). Optimización mineral de la alimentación de bovinos doble propósito de la región del Papaloapan, Oaxaca. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Chapingo.
- Torres-Osorio, V., Urrego, R., Echeverri-Zuluaga, J. J. y López-Herrera, A. (2019). Estrés oxidativo y el uso de antioxidantes en la producción *in vitro* de embriones mamíferos. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 10(2), 433-459.

Tudsri, S., Matsuoka, H. y Kobashi, K. (2002). Effect of temperature on seedling growth characteristics of *Panicum maximum*. *Tropical Grasslands*, 36(3), 165-171.

Ulloa, U. L. A. (2019). Efecto del balance energético negativo sobre el desarrollo ovárico en vacas lecheras posparto. Tesis de maestría. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Viedma, R. F. (2021). Carga parasitaria en bovino en distintos sistemas de manejo de pastura. *Revista sobre estudios e investigaciones del saber académico*. Universidad Nacional de Itapúa. Dirección de Investigación y Ambiente. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Encarnación, Paraguay (14) <https://orcid.org/0000-0002-4483-2955>.