

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
POSGRADO REGIONAL EN CIENCIAS VETERINARIAS TROPICALES**



**MANEJO REPRODUCTIVO SOSTENIBLE DE HEMBRAS BOVINAS PRIMÍPARAS EN EL
TRÓPICO HÚMEDO DE COSTA RICA.**

Jaime Roberto Galindo Badilla.

Heredia, Febrero del 2007

**Tesis sometida a consideración del Tribunal Examinador del Postgrado Regional
en Ciencias Veterinarias Tropicales para optar al grado de *Magíster Scientiae* con
énfasis en Producción Animal Sostenible**

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

José Rodríguez Zelaya MSc
Presidente Consejo Central de Postgrado

Bernardo Vargas Leitón PhD
Representante PCVET

Sandra Estrada König MSc
Tutor

Carlos Salvador Galina PhD
Asesor

Rafael Molina Sánchez PhD
Asesor

Jaime Roberto Galindo Badilla
Sustentante

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN GENERAL	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE ANEXOS	x
INTRODUCCIÓN GENERAL	xi
BIBLIOGRAFIA	xix
Capítulo 1	1
RESUMEN	2
SUMMARY	3
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. OBJETIVO	5
2. MATERIALES Y MÉTODOS	5
2.1 Localización	5
2.2 Animales	5
2.3 Fases Experimentales	5
2.4 Evaluaciones Reproductivas	6
2.4.1 <i>Parámetros productivos</i>	7
2.4.2 <i>Parámetros Reproductivos</i>	7
2.5 Análisis Estadístico	7
3. RESULTADOS	9
4. DISCUSIÓN	14
5. CONCLUSIONES	16
6. BIBLIOGRAFIA	17
7. ANEXOS	21
Capítulo 2	23
RESUMEN	24
SUMMARY	24
1. INTRODUCCIÓN	26
1.1 OBJETIVO	27
2. MATERIALES Y MÉTODOS	28

2.1 Enfoque General.....	28
2.2 Variables de entrada del modelo.....	29
2.3 Variables de salida del modelo.....	33
2.4 Análisis de sensibilidad y cálculo de valores económicos	35
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
3.1 Situación Base	36
3.2 Variación y análisis de sensibilidad	39
3.3 Valores Económicos de rasgos productivos	44
4. CONCLUSIONES	47
5. BIBLIOGRAFÍA.....	49
6. ANEXOS.....	52
DISCUSIÓN GENERAL Y RECOMENDACIONES	57

RESUMEN GENERAL

El objetivo de este estudio es resaltar la interacción que existe entre las reservas corporales de las vacas de primer parto con el entorno ambiental y jerárquico teniendo en cuenta variables de tipo biológico y económico. Es sabido que vacas que tienen una buena condición corporal tiene una mayor probabilidad de iniciar su actividad ovárica más rápido y por ende quedar gestantes más rápido. Se ha atribuido la baja productividad de los animales criados bajo condiciones tropicales a una inadecuada nutrición. Se han desarrollado estrategias de suplementación alimentaria en las épocas críticas del año con el objetivo de proveer aquellos nutrientes que los pastos no aportan en cantidades adecuadas.

Estos estudios se llevaron a cabo en la finca “La Vega” perteneciente al Instituto Tecnológico de Costa Rica, ubicada en San Carlos, provincia de Alajuela, Costa Rica. El primer estudio tuvo por objetivo evaluar el uso de la suplementación alimenticia, destete y sincronización sobre parámetros productivos y reproductivos en vacas *Bos indicus* postparto. Para esto se utilizaron 26 novillas de primer parto (*Bos indicus*), SSD (Grupo suplementado + sincronización + destete, n= 11) y NSSD (Grupo no suplementado + sincronización + destete, n=15). El grupo (SSD) recibió por 44 días Citrocom® Casa Dos Pinos (5.5% PC, 2.85 Mcal ED), a razón de 1% del peso vivo. A los 60 días posparto promedio todos los animales fueron sincronizados con un progestágeno (Norgetomet) además de una inyección de Valerato de Estradiol (VE), al retiro del implante, se destetaron las crías por 72 horas y las vacas fueron expuestas a 2 toros. El punto más bajo de condición corporal (NADIR) que presentaron los animales del grupo suplementado fue de 37.5 ± 3.4 días mientras que el grupo no suplementado lo presentó a los 22.3 ± 7.9 días ($P < 0.0001$). No se observaron diferencias entre los grupos en cuanto a capa dorsal de grasa y peso a lo largo del estudio. Al final de la sincronización en el SSD se observó que 81% (9/11) y en el NSSD el 60% (9/15) ovularon ($P > 0.05$). La proporción de animales que ciclaron al final del experimento en el grupo SSD fue 82% (9/11) mientras que en el grupo NSSD fue 73% (11/15) se observó que el grupo SSD ovuló de forma más rápida que el NSSD (55.8 ± 7.8 y 94.5 ± 21.7 respectivamente) ($P < 0.05$). Se observó que en cuanto a la suplementación esta no tuvo ninguna influencia reproductiva en los grupos en cuanto a la ovulación, fertilidad y ciclicidad después del tratamiento.

En el segundo estudio se elaboró un modelo de simulación estocástico para evaluar la eficiencia bioeconómica de un sistema de producción de ganado de carne en el trópico húmedo de Costa Rica.

DEDICATORIA

A nuestro ser supremo Dios, ya que siempre me ha guiado por el mejor camino y me ha permitido llegar hasta donde he llegado...

A mis hijos Jaimito y Glorianna los que me regalaron motivación, apoyo y parte de su tiempo.

A mis Padres que me han enseñado con su ejemplo a ser un hombre de bien y útil para la sociedad.

En especial a mi Esposa Shirley ya que ella es el complemento a mi vida:

En el lugar que tú estés

Mi pensamiento estará

Porque es tan grande mi amor

Que no te puedo olvidar

AGRADECIMIENTOS

A mi amigo el Dr. Martín Guillermo Maquívar Linfoot por darme además de su amistad, el apoyo y dedicación para la realización de este documento.

A mi comité asesor Dra. Sandra Estrada, Dr. Carlos Galina y Dr. Rafael Molina por su invaluable conocimiento y atinadas contribuciones a la realización de este documento.

Al Dr. Bernardo Vargas por su tenaz ayuda, e incondicional dedicación a la enseñanza y a la elaboración de este documento que sin su apoyo no se hubiera realizado.

A la relación existente entre El Instituto Tecnológico de Costa Rica, La Universidad Nacional de Costa Rica y la Universidad Nacional Autónoma de México por haber facilitado la logística en cuanto a implementos, análisis de laboratorio e infraestructura para la elaboración de este trabajo.

Al personal de la Finca la Vega del Instituto Tecnológico de Costa Rica en especial a Arturo Huertas Campos, que se convirtió en mi bastón de apoyo para el manejo de los animales y que nunca dijo NO a ninguna de la toma de datos que incluso hasta en las madrugadas se realizaron. De igual manera agradecer a Rodrigo Solís, Coordinador de la Unidad de Ganado de Carne del ITCR de la Sede Regional San Carlos por su gran apoyo logístico.

A mi compañera de cursos de Maestría y amiga Blanca Eugenia Torres que de forma incondicional estuvo apoyándome en la obtención de datos en finca y ayuda durante mis estudios. Además a mis compañeros de cursos de Maestría, Manuel, Joel, Luís Diego y Héctor que facilitaron de una u otra manera el paso del tiempo.

A aquellos Estudiantes de la Escuela de Agronomía del ITCR que de una u otra manera me brindaron su apoyo.

LISTA DE CUADROS

Capítulo 2

Cuadro 1. Parámetros de entrada, códigos y valores de base (\pm D.E) asumidos en el modelo estocástico de simulación de la finca en estudio	31
Cuadro 2. Parámetros de salida del modelo de simulación y fórmulas de cálculo.....	34
Cuadro 3 Parámetros de salida resultantes de la simulación estocástica	37
Cuadro 4. Valores económicos ^a para parámetros de eficiencia biológica	45

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1. Evolución de la Condición corporal a través del experimento.	9
Figura 2. Mediciones promedio de la capa dorsal de grasa (CDG)	10
Figura 3. Evolución del peso promedio de los grupos experimentales.....	11
Figura 4. Estructuras Ováricas de los hallazgos de US en el Grupo Suplementado, Sincronizado y destetado (SSD)	12
Figura 5. Estructuras Ováricas de los hallazgos de US en el Grupo No Suplementado, Sincronizado y destetado (NSSD)	12
Figura 6. Desarrollo folicular durante el muestreo intensivo.	13

Capítulo 2

Figura 1. Flujograma con los principales componentes y parámetros considerados en el modelo estocástico de simulación de la finca bajo estudio.....	30
Figura 2. Curvas de crecimiento según función de Richards para hembras y machos en la finca de estudio	33
Figura 3. Estimados de correlación entre parámetros de eficiencia biológica y variable de salida kgs de ternero destetado por vaca expuesta a toro	41
Figura 4. Estimados de correlación entre parámetros de eficiencia biológica y variable de salida utilidad neta anual.....	42

LISTA DE ANEXOS

Capítulo 1

Anexo 1. Precipitación pluvial promedio del año 2005	21
Anexo 2. Temperatura promedio máxima y mínima del año 2005.....	21
Anexo 3. Humedad Relativa promedio máxima y mínima del año 2005	21
Anexo 4. Concentrado Citrocom® Peletizado casa Dos Pinos, Costa Rica.....	22

Capítulo 2

Anexo 1. Hoja de control para especificación de distribuciones de probabilidad ^a en variables de entrada del modelo de simulación	52
Anexo 2. Hoja para cálculo de costos de mantenimiento en vacas de cría ^a	53
Anexo 3. Hoja para cálculo de costos de mantenimiento en machos y hembras en etapas de desarrollo y engorde	54
Anexo 4. Pantalla de control con parámetros de entrada y salida en formato de excel	55
Anexo 5. Hoja resumen de reporte de parámetros de salida y sus rangos de variación	56

INTRODUCCIÓN GENERAL

En las áreas tropicales el desarrollo de animales de reemplazo en sistemas pecuarios se presenta generalmente bajo limitantes de tipo nutricional. Estas limitantes pueden conllevar a la obtención de bajas ganancias de peso en el periodo posdestete, retardando el proceso de crecimiento e incidiendo de manera negativa sobre el rendimiento reproductivo del animal.

Para tratar de solucionar dicha problemática se ha intentado suplementar a los animales mantenidos en condiciones de pastoreo, con el objeto de proveer aquellos nutrientes energéticos y proteicos que el forraje no aporta en cantidad suficiente y así lograr un adecuado desarrollo y un adecuado desempeño reproductivo.

La respuesta del animal a la suplementación esta en función de diversos factores, entre los cuales se encuentran la disponibilidad del forraje, el tipo y la calidad del suplemento y efectos asociativos entre el forraje y el suplemento.

Factores que afectan el rendimiento reproductivo en ganado bovino

Uno de los principales limitantes que enfrentan los productores de carne es el amplio intervalo que existe entre el parto y el reinicio de la actividad ovárica, lo cual repercute en la continuidad de la producción y se refleja en pérdidas económicas (Yavas y Walton, 2000). Smith y Akinbamijo (2000) mencionaron que el funcionamiento reproductivo de los animales está relacionado con cuatro factores principalmente: nutrición, manejo, efectos genéticos y ambientales, argumentando que los factores nutricionales es de los puntos más críticos para la reproducción bovina. Asimismo los factores que influyen sobre la duración del anestro posparto son el amamantamiento, estado nutricional, estación del año, edad del animal, raza, presencia del toro, factores estresantes y patologías reproductivas tales como retenciones placentarias e infecciones uterinas (Jolly *et al.*, 1995). Al respecto se han hecho intervenciones en el plano nutricional con el fin de mejorar el estado de los animales y así reducir el anestro posparto, también la literatura describe que las pérdidas de condición corporal que sufren las vacas seguidas del posparto y en consecuencia presenten un balance energético negativo hace que la secreción de LH se reduzca, al respecto Sinclair *et al.* (2002) observaron que la puntuación de la condición corporal al parto es más importante que el consumo de nutrientes seguidos del parto, es decir, las vacas que paren con una buena condición corporal (3 en una escala de 0 a 5) tienen intervalos menores (48 días) entre el parto y la primera ovulación en comparación con las vacas que paren con bajas puntuaciones de condición corporal (2) que ovulan hasta el día 55 días post-parto, asimismo Ryan *et al.* (1994) sugieren que la condición corporal seguida del parto este altamente correlacionada con el desarrollo folicular y la secreción de LH a nivel

hipofisiario (Bossis *et al.*, 1999). Así vacas que tienen una buena condición corporal tienen una mayor probabilidad de reiniciar su actividad ovárica más rápido y por ende quedar gestantes más rápido (Vizcarra *et al.*, 1998). Se han desarrollado estrategias de suplementación alimentaria en las épocas críticas del año con el objetivo de proveer aquellos nutrientes que el forraje no aporta en cantidades adecuadas (Riquelme, 1987), por otra parte se ha estudiado el papel que tiene la nutrición en los aspectos reproductivos relevantes, tales como la madurez sexual, ovulación, fertilidad y mantenimiento de la preñez. Sin embargo, la relación entre la nutrición y la reproducción es complicada y está compuesta de numerosas variables, así los nutrientes de la dieta permiten al animal los medios necesarios para expresar el potencial genético para la reproducción (Robinson, 1996)

Stagg *et al.* (1995) evaluó ultrasonográficamente la actividad ovárica de 24 vacas del parto hasta la primera ovulación, concluyendo que el anestro prolongado se debe principalmente a que los folículos dominantes no son capaces de ovular, sin embargo los animales muestran que al día 14 post-parto tienen la capacidad de presentar un folículo dominante, sin embargo este sufre atresia (Murphy *et al.* 1990).

Jolly *et al.* (1995) en una revisión de literatura ponen de manifiesto que las vacas posparto sufren estrés nutricional durante el puerperio, por lo que caen en un balance energético negativo, este estado actúa como una retroalimentación negativa a nivel hipotalámico por medio de señales metabólicas. Por lo que la secreción de GnRH se ve reducida y la estimulación a nivel hipofisiario, en cuanto a la secreción de gonadotropinas es inhibida, por lo que los folículos son incapaces de desarrollar, madurar, consecuentemente están incapacitados para ovular. Una vez que los animales dejan de perder condición corporal y/o peso, el balance energético se equilibra, por lo que la retroalimentación negativa cesa y la secreción de GnRH se establece normalmente y la estimulación hacia la hipófisis se torna normal, sin embargo se ha observado que los animales después de la primera ovulación, tienen la incapacidad de mantener ciclos estrales normales, ya que los folículos se luteinizan “parcialmente” por lo cual el cuerpo lúteo sufre lisis temprana (Lucy *et al.*, 1992). Asimismo se ha descrito el valor predictivo de la condición corporal sobre las tasas finales de fertilidad. Selk *et al.* (1988) describieron que la condición corporal antes de la época de monta y al inicio de esta, tienden a influir sobre la tasa de preñez final, los animales que ganan condición corporal y peso son los que presentaron mejores tasas de gestación en comparación de los que perdieron y después volvieron a ganar condición corporal y peso.

Soto *et al.* (1997) evaluaron el efecto de la suplementación alimenticia sobre el desempeño productivo y reproductivo en 90 vaquillas Brahman, sus resultados sugieren que la suplementación mejora los parámetros productivos (ganancia diaria de peso vivo y condición

corporal), sin embargo el desempeño reproductivo (actividad ovárica, respuesta a la sincronización, tasa final de preñez y número de servicios por concepción) no se vieron afectados. Sin embargo, existe poca evidencia del efecto de la suplementación sobre el desempeño reproductivo de los animales en los subsiguientes años al programa de alimentación.

El óptimo desempeño reproductivo de las vacas destinadas a la producción de carne en el trópico se encuentra limitada por el largo intervalo entre partos que tienen este tipo de animales y el retraso en el reinicio de la actividad ovárica posparto que puede ir hasta más de los 100 días de haber parido (Galina y Arthur 1989).

Las novillas que paren a los dos años de edad reinician su actividad ovárica de 20 a 40 días después que las vacas (Wiltbank 1970) por lo tanto el manejo que se proporcione durante esta etapa productiva a este tipo de animales influirá sobre el desempeño futuro del animal. El estrés de haber parido aunado al ocasionado por seguir creciendo y por ser su primera lactación demanda requerimientos nutricionales altos, mismos que animales criados bajos sistemas extensivos a base de pastoreo no cubren, sobre todo por la baja calidad nutricional de los pastos en los trópicos (Mendoza, 1996). Por lo tanto, el inadecuado consumo de nutrientes antes (Bellows *et al.* 1982) o después del parto (Grimard *et al.* 1995) tiene fuerte efecto detrimental sobre el funcionamiento reproductivo de los animales primíparos en comparación con las vacas múltiparas.

El amamantamiento (Williams 1990; Stagg *et al.* 1995) y la nutrición (Selk *et al.* 1988; Randel, 1990) son los principales reguladores de la duración del intervalo del anestro posparto.

El intervalo entre el parto y el inicio de la actividad ovárica son unos de los factores más importantes que afectan la viabilidad reproductiva y económica dentro de las empresas bovinas (Lalman *et al.* 1997). El intervalo postparto (IPP) generalmente es mayor en animales primíparos en comparación con animales múltiparos (Wiltbank 1970; Short y Bellows 1976; Triplett *et al.* 1995). Consecuentemente un balance energético positivo es necesario para promover el reinicio de la actividad ovárica (Houghton *et al.* 1990). Así, con el fin de prevenir dichos problemas, se han puesto en prácticas diversas estrategias como la suplementación en épocas críticas del año como lo son las épocas pre-monta y épocas pos-parto (Peiris *et al.* 1995). El objetivo primordial de la aplicación de programas nutricionales de complementación consiste en proveer aquellos nutrientes que el forraje no aporta en cantidad suficiente, evitar pérdidas de peso y condición corporal y mejorar el desempeño productivo de los animales reflejado en ganancias diarias de peso y condición corporal, aumentando la producción láctea.

Por otra parte, Soto *et al.* (1997) en condiciones tropicales evaluaron el efecto de la suplementación sobre el desempeño productivo y reproductivo, en vaquillas Brahman. Sus

resultados indican que la alimentación mejoró la productividad de los animales reflejada en las ganancias diarias de peso y en la condición corporal, sin embargo la eficiencia reproductiva evaluada por los diámetros foliculares, respuesta a un tratamiento sincronizador y tasa final de preñez, no manifestó diferencias entre el grupo suplementado y el no suplementado. En contraste, Castellanos *et al.* (1998) evaluaron vaquillas de primer parto Brahman suplementadas con diferentes niveles de concentrado (0.5%, 1.0% y 1.5% del peso vivo del animal) sobre la fertilidad después de un programa de empadre estacional, sus resultados sugieren que los animales con 1.5% de suplemento con respecto al peso vivo presentaron las mejores tasas de preñez (75.0%) con respecto a las novillas con 1% y 0.5% (62.5% y 37.5% respectivamente). Así, Grings *et al.* (1998) evaluaron el efecto de la suplementación y sincronización del estro sobre la presentación de la pubertad en 180 novillas, observaron que los animales a los cuales se les administró silo de maíz y pasto natural entraron a la pubertad antes que los animales que se mantuvieron en condiciones de pastoreo. La variabilidad en cuanto a la respuesta a la suplementación se puede explicar con lo descrito por Mendoza (1996), quien menciona que la respuesta animal a los programas de suplementación varía de acuerdo a las condiciones climáticas, raza, edad, estado fisiológico de los animales, disponibilidad de agua y forraje, cantidad y tipo de suplemento.

Recientes investigaciones han puesto de manifiesto la importancia de la condición corporal en los hatos bovinos, ya que es una evaluación relativamente sencilla que tiende a reflejar el nivel nutricional del hato y específicamente el estado energético (Burke *et al.* 1998) como una medida de la eficiencia reproductiva del hato. La condición corporal, principalmente modificada por la deposición de tejido graso, ha sido tomada como un parámetro dentro de las explotaciones, ya que diversas investigaciones han demostrado una alta correlación entre la puntuación de la condición corporal y el estado reproductivo del animal en diversas etapas, tal es el caso del parto. Lalman *et al.* (1997) evaluando el cambio de peso y la condición corporal sobre el anestro posparto de novillas de primer parto, sugieren que los animales que ganan al menos 1.8 unidades (en una escala de 1 a 9) presentan un menor intervalo en comparación con aquellas que mantienen o incluso pierden puntuación en la condición corporal. Asimismo, se ha descrito el valor predictivo de la condición corporal sobre las tasas finales de fertilidad; Selk *et al.* (1988) describieron que la condición corporal antes de la época de monta y al inicio de esta, tienden a influir sobre la tasa de preñez final, los animales que ganan condición corporal y peso son los que presentaron mejores tasas de gestación en comparación de los que perdieron y después volvieron a ganar condición corporal y peso.

Por lo anterior, las decisiones que se tomen dentro de la explotación bovina con el fin de mejorar la productividad en el ganado criado en condiciones tropicales cobra especial

importancia, ya que no existe fórmula alguna con la cual contar, ya que el manejo y las estrategias dependen de cada zona, tipo de ganado, disponibilidad de recursos tanto tecnológicos como biológicos, mercado favorable del producto final (Peiris *et al.* 1995). Generalmente las estrategias buscan minimizar los efectos de épocas críticas evitando que los animales pierdan condición corporal y peso, por tal motivo se han diseñado programas de suplementación encontrándose resultados muy variables, asimismo el genotipo del animal juega un papel importante, ya que una adecuada selección hacia fertilidad, ganancia de peso y últimamente hacia peso de canal, calidad de la carne y consumo de materia seca han sido utilizados (Arthur *et al.* 2001).

El inicio de la pubertad es un aspecto fundamental en la productividad de los hatos, el establecimiento de los ciclos estrales acompañado de ovulaciones en forma normal. La capacidad de aceptar al macho y quedar gestantes son las metas a seguir en el desarrollo de novillas de reemplazo. Así, Galina y Arthur (1989) mencionaron que el inicio de la pubertad en ganado cebú se encuentra alrededor de los 22 meses, sin embargo Kinder *et al.* (1995) indicaron que esta edad puede ir desde los 6 meses hasta más de 24 meses. En un estudio bajo condiciones del trópico de Costa Rica, Hidalgo (1999) estimó que la edad a la primera monta está entre los 30 y 36 meses de edad. La variación en la edad a la pubertad indica que los animales responden de acuerdo a las condiciones en las cuales se encuentran criados, al manejo, fuentes y disponibilidad de alimento, y finalmente a la capacidad del animal a responder a las circunstancias imperantes en el medio.

En contraste Zakari *et al.* (1981) y Randel (1984) mencionaron que la receptividad sexual de las vacas se ve afectada por las épocas en las cuales la temperatura es alta y la calidad del forraje es baja.

Se han descrito diversos factores que pueden afectar la presentación del estro, al respecto Orihuela (2001) describió factores como interacciones sociales, manejo de los animales, ambientales, nutricional, edad y estado fisiológico, factores genéticos y finalmente la presencia del toro, estos factores por si solos o en asociación pueden llegar a retrasar o adelantar la presentación de las conductas sexuales.

En estudios recientes, tienden a evaluar como parámetros reproductivos para una adecuada selección el diámetro testicular en machos y en las hembras edad al primer parto e intervalo entre partos (Doyle *et al.* 2000). Al respecto, Eler *et al.* (2002) evaluaron la probabilidad de que la novilla quede gestante dentro de la época reproductiva como un parámetro para la selección, sus resultados sugieren que con el uso de este parámetro se pueden seleccionar los animales con una alta probabilidad de que estas sean fértiles. Sin embargo es altamente recomendable seguir seleccionando toros con altos índices de hijas precoces así como el número de hijas que

tenga un toro. Se han observado importantes diferencias entre la edad de la pubertad entre *Bos taurus* y *Bos indicus*, encontrándose que el ganado europeo tiende a mostrar más rápido la edad a la pubertad que en el ganado Cebú. La selección de la raza de carne en los sistemas productivos requiere de un amplio conocimiento de la interacción entre la disponibilidad de recursos y la eficiencia del animal tanto productiva como reproductivamente, con el fin de incrementar y mantener el desarrollo sostenible de la producción (Freetly y Cundiff 1997).

Impacto económico de la reproducción sobre la productividad de las explotaciones ganaderas

En un sistema de producción animal la eficiencia reproductiva determina en gran medida la eficiencia biológica y económica de la empresa. Es importante cuantificar el impacto económico de la reproducción sobre la productividad de la empresa ganadera. Una manera de evaluar este impacto es mediante técnicas de modelación.

Un modelo de simulación es una abstracción de un sistema o proceso real, una simplificación formal que incluye los elementos esenciales que conforman un sistema (Noordhuizen *et al.* 1997). Los modelos de simulación pueden clasificarse como determinísticos o estocásticos. En modelos determinísticos los parámetros involucrados toman solamente un número limitado de valores fijos. En modelos estocásticos, también conocidos como modelos de simulación Monte Carlo, se puede representar la posible variación aleatoria que ocurre en la presentación de un evento. Mediante esta técnica es posible definir un rango de valores esperados para variables inciertas, en vez de utilizar solo valores promedio. La definición de los rangos de variación para una variable aleatoria se hace mediante el uso de distribuciones de probabilidad (Sapag y Sapag 1990).

En el área de la producción animal, los modelos de simulación han sido utilizados con diversos objetivos. Algunos modelos se han creado para representar procesos biológicos específicos, por ejemplo curvas de crecimiento (Solano y Vargas 1997, Pereda *et al.* 2005) o curvas de lactancia (Vargas *et al.* 1999).

Otros modelos son integrados ya que analizan de manera conjunta varios de los procesos biológicos que ocurren en sistemas de producción animal, con el fin de estudiar sus interacciones y evaluar el impacto agregado sobre el sistema de producción. Los modelos integrados son más de mayor complejidad ya que se requiere representar las principales relaciones existentes entre distintos componentes de un sistema. En la literatura se describen algunas de las características que son comunes a este tipo de modelos (Konandreas y Anderson 1982, Quiroz *et al.* 1994, León Velarde y Quiroz 2001).

En producción animal, el enfoque integrado ha sido utilizado, por ejemplo, en modelos para optimización de políticas de reemplazo (Van Arendonk 1986, Vargas *et al.* 2001), modelos para determinación de valores económicos de rasgos de producción (Vargas *et al.* 2002) o modelos para evaluación de alternativas de mejoramiento genético (Vargas y Van Arendonk 2004).

Actualmente se utilizan con modelos de simulación de tipo estocástico. Estos modelos permiten considerar la variabilidad aleatoria inherente a procesos biológicos, p.e rendimiento reproductivo, así como la incertidumbre en parámetros de tipo económico, p.e variación en precios; permitiendo estimar el impacto potencial de una estrategia de manejo bajo un rango de posibles escenarios determinados por condiciones de mercado y rangos de variación observados en procesos biológicos (Sapag y Sapag 1990, Dijkhuizen y Morris 1997, Hardaker *et al.* 1997)..

Es importante destacar que la información en el riesgo es de carácter aleatorio asociándose una estrategia a un conjunto de resultados posibles teniendo cada uno una probabilidad independiente. La incertidumbre ocurre cuando los posibles resultados de una estrategia no son conocidos de manera precisa, de tal manera que sus probabilidades de ocurrencia no son cuantificables ya que pueden ser los datos de carácter incompleto, de exceso de datos, de información inexacta, sesgada o falsa. La sola medición de algunas de las variables por si solas ya genera incertidumbre como por ejemplo el precio y la calidad de las materias primas; el nivel tecnológico de producción; las escalas de remuneraciones; la evolución de los mercados; la solvencia de los proveedores; las variaciones de la demanda; las políticas de gobierno; la productividad real de la operación (Sapag y Sapag 1990, Grant *et al.* 2001, Ugalde 2002). El método Monte Carlo puede utilizarse para simular comportamiento de entradas y salidas en explotaciones ganaderas, así como dinámicas de población, flujos de caja, etc, con el objetivo de tener un entendimiento de las ramificaciones y posibles salidas dentro del sistema. En este sentido es indispensable el uso de programas computacionales de fácil manejo para poder comprender el funcionamiento y poder tomar decisiones más acertadas. Los sistemas de información facilitan el flujo y la interpretación de los datos acumulados y además estiman parámetros los cuales son requeridos para un nuevo procesamiento de información. Se puede acoplar en los programas varias hipótesis condicionadas, las cuales son evaluables. Este modelo podría desarrollar una interacción de las exploraciones de los procesos ambientales, enfermedades y los sistemas de producción animal. Los sistemas analíticos están desarrollados para identificar los componentes más importantes de cada subsistema y así poder describir adecuadamente las relaciones biológicas entre esos componentes. Estas relaciones pueden ser variables que se pueden obtener experimentalmente. Otra de las ventajas de usar simulación computarizada es que se puede tener la habilidad de predecir lo que puede suceder en un

estado real en un tiempo presente. Esto se puede hacer con poblaciones diferentes ya sean grandes o pequeñas con condiciones diferentes en corto tiempo (Dijhuizen y Morris 1997).

BIBLIOGRAFIA

- Arthur, PF; Archer, JA; Johnston, DJ; Herd, RM; Richardson, EC; Parnell, PF. 2001. Genetic and phenotypic variance and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. *Journal of Animal Science* 79:2805–2811.
- Bellows, RA; Short, RE; Richardson, GV. 1982. Effects of sire, age of dam and gestation feed level on dystocia and postpartum reproduction. *Journal of Animal Science* 55:18-27.
- Bossis, I; Wettemann, RP; Welty, SD; Vizcarra, J.A; Spicer, LJ; Diskin, MG. 1999. Nutritionally induced anovulation in beef heifers: Ovarian and endocrine function preceding cessation of ovulation. *Journal of Animal Science* 77: 1536-1546.
- Burke, JM; Hampton, JH; Staples, CR; Thatcher WW. 1998. Body condition influences maintenance of a persistent first wave dominant follicle in dairy cattle. *Theriogenology* 49: 751-760.
- Castellanos, A; Castillo, E; Rubio, I; Galina, CS; Martínez, A. 1998. Efecto del nivel de suplementación sobre la fertilidad de novillonas Brahman en un clima húmedo af(m)1. *Avances en Investigación Agropecuaria* 7: 22-29.
- Dijkhuizen, AA; Morris RS. 1997. *Animal Health Economics. Principles and Applications.* University of Sydney/Wageningen Agricultural University/University of Massey. 320 p.
- Doyle, SP; Golden, BL; Green, RD; Brinks, JS. 2000. Additive genetic parameter estimates for heifer pregnancy and subsequent reproduction in Angus females. *Journal of Animal Science* 78:2091–2098.
- Eler, JP; Silva, JA; Ferraz, JBS; Dias, F; Oliveira, HN; Evans, JL; Golden, BL. 2002. Genetic evaluation of the probability of pregnancy at 14 months for Nellore heifers. *Journal of Animal Science* 80:951–954.

- Freetly, HC; Cundiff, LV. 1997. Postweaning Growth and Reproduction Characteristics of Heifers Sired by Bulls of Seven Breeds and Raised on Different Levels of Nutrition. *Journal of Animal Science* 75:2841–2851.
- Galina, CS; Arthur, GH. 1989. Review of cattle reproduction in the tropics. Part I. Puberty and age at first calving. *Animal Breeding Abstracts*. 57: 583-590.
- Grant, W; Marín, S; Pedersen, E. 2001. Ecología y manejo de recursos naturales: Análisis de sistemas y simulación. IICA, San José, Costa Rica. 340 p.
- Grimard, B; Humblot, P; Ponter, AA; Mialot, JP; Sauvant, D; Thibier, M. 1995. Influence of postpartum energy restriction on energy status, plasma LH and oestradiol secretion and follicular development in suckled beef cows. *Journal of Reproduction Fertility*. 104(1):173-9.
- Grings, EE; Hall, JB; Bellows, RA; Short, RE; Bellows, SE; Staigmiller, RB. 1998. Effect of Nutritional management, trace mineral supplementation, and Norgestomet Implant on attainment of puberty in beef heifers. *Journal of Animal Science* 76: 2177-2181.
- Hardaker, JB; Huirne, RBM; Anderson, JR. 1997. Coping with risk in agriculture. CAB International. 274 p.
- Hidalgo, C. 1999. El futuro de la ganadería de carne en Costa Rica: La producción primaria. Memoria XI Congreso Nacional Agronómico. Costa Rica, 3: 539- 541
- Houghton, PL; Lemenager, RP; Hendrix, KS; Moss, GE; Stewart, TS. 1990. Effects of body composition, pre- and postpartum energy intake and stage of production on energy utilization by beef cows. *Journal of Animal Science*. 68(5):1447-56.
- Jolly, PD; McDougall, S; Fitzpatrick, LA; Macmillan, KL; Entwistle, KW. 1995 Physiological effects of under nutrition on postpartum anoestrus in cows. *Journal of Reproduction and Fertility* (Supplement) 49: 477-492.
- Kinder, JE; Bergfeld, EG; Wehrman, ME; Peters, KE; Kojima, FN. 1995. Endocrine basis for puberty in heifers and ewes. *Journal of Reproduction and Fertility* (Suppl) 49: 393-407.

- Konandreas, PA.; Anderson, FM. 1982. Cattle herd dynamics: An integer and stochastic model for evaluating production alternatives. International Livestock Centre for Africa Addis Ababa, Ethiopia. ILCA Research Report No. 2
- Lalman, DL; Keisler, DH; Williams, JE; Scholljegerdes, EJ; Mallet, DM. 1997. Influence of postpartum weight and body condition change on duration of anestrus by undernourished suckled beef heifers. *Journal of Animal Science* 75: 2003-2008.
- León Velarde, C; Quiroz R. 2001. Modeling cattle production systems: integrating components and their interactions in the development of simulation models. In: Proceedings of the Third International Symposium on Systems Approaches for Agricultural Development. International Potato Center (CIP), Lima Perú. p. 18
- Lucy, MC; Savio, JD; Badinga, L; De la Sota, RL; Thatcher, WW. 1992 Factors that affect ovarian follicular dynamics in cattle. *Journal of Animal Science* 70: 3615-3626
- Mendoza, MGD; Ricalde, VR. 1996. Suplementación de bovinos en crecimiento en pastoreo. México D.F., Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco p 153.
- Murphy, MG; Boland, MP; Roche, JF. 1990 Pattern of follicular growth and resumption of ovarian activity in post-partum beef sucker cows. *Journal of Reproduction and Fertility* 90: 523-533.
- Noordhuizen, J; Frankena, K; Van der Hoofd, C; Graat, E. 1997. Application of quantitative methods in veterinary epidemiology. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. 445 p.
- Orihuela, A. 2001 Some factors affecting the behavioural manifestation of oestrus in cattle: a review. *Applied Animal Behavior Science*. 70: 1-16.
- Peiris, H; Elliott, R; Hles, JW; Norton, W. 1995. Alternative management strategies for maximising productivity in beef cattle in the subtropics. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35: 317-324.

- Pereda, M; González, S; Arjona, E; Bueno, G; Mendoza, G. 2005. Ajuste de modelos de crecimiento y cálculo de requerimientos nutricionales para novillos Brahman en Tamaulipas, México. *Agrociencia*. 39(1):19-27.
- Quiroz, R; Arce, B; Cañas, R; Aguilar C. 1994. Development and use of simulation models in animal production systems research. En: *Animal production system research; methodological and analytical guidelines*. IDRC/IICA-RISPAL; San José, C.R. pp.103-149.
- Randel, RD. 1984. Seasonal effects on female reproductive functions in the bovine (Indian breeds). *Theriogenology* 21:170-185.
- Randel, RD. 1990. Nutrition and postpartum rebreeding in cattle. *Journal of Animal Science* 68(3):853-62.
- Riquelme, VE. 1987 Suplementación energética para bovinos en pastoreo. En: Memoria del seminario internacional Suplementación para bovinos en pastoreo. González, SM. (ED.) *Centro de Ganadería, Colegio de Posgraduados*.
- Robinson, JJ. 1996 Nutrition and Reproduction. *Animal Reproduction Science*. 42: 25-34.
- Ryan, DP; Spoon, RA; Griffith, MK; Williams, GL. 1994 Ovarian follicular recruitment , granulosa in steroidogenic potential and growth hormone, insulin like growth factor –1 relationships in suckled beef cows consuming high lipid diets: effects of graded differences in body condition maintained during the puerperium. *Domestic Animal Endocrinology*. 11: 161-174.
- Sappag-Chain, N; Sappag-Chain, R. 1990. Preparación y evaluación de proyectos. 2da Edición. McGraw Hill. 390 p.
- Selk, GE; Wettemann, RP; Lusby, KS; Oltjen, JW; Mobley, SL; Rasby, RJ; Garmendia, JC. 1988. Relationships among weight change, body condition and reproductive performance of range beef cows. *Journal of Animal Science* 66: 3153-3159.
- Short, RE; Bellows, RA; Carr, JB; Staigmiller, RB; Randel, RD. 1976. Induced or synchronized puberty in heifers. *Journal of Animal Science* 43(6):1254-8.

- Sinclair, KD; Revilla, R; Roche, JF; Quintans, G; Sanz, A; Mackey, DR; Diskin, MG. 2002. Ovulation of the first dominant follicle arising after day 21 postpartum in suckling beef cows. *Journal of Animal Science* 75: 115-126.
- Smith, OB; Akinbamijo, OO. 2000. Micronutrients and reproduction in farm animals. *Animal Reproduction Science* 60-61: 549-560.
- Solano, C; Vargas, B. 1997. Crecimiento corporal de novillas de reemplazo en fincas lecheras de Costa Rica. 1. Tipificación de curvas de crecimiento en novillas Holstein y Jersey. *Arch. Latinoam. Prod. Anim. ALPA* 5(1):21-36.
- Soto, CR; Galina, CS; Rubio, I; Castillo, E; Basurto, H. 1997. Efecto de la suplementación alimenticia sobre el desempeño productivo y reproductivo de vaquillas Brahman a pastoreo en el trópico húmedo de México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 5: 65-78.
- Stagg, K; Spicer, LJ; Sreenan, JM; Roche, JF; Diskin, MG. 1995. Effect of calf isolation on follicular wave dynamics, gonadotropin and metabolic hormone changes, and interval to first ovulation in beef cows fed either of two energy levels postpartum. *Biology of Reproduction* 59:777-783.
- Triplett, BL; Neuendorff, DA; Randel, RD. 1995. Influence of undegraded intake protein supplementation on milk production, weight gain, and reproductive performance in postpartum Brahman cows. *Journal of Animal Science* 73:3223-3229.
- Ugalde, G. 2002. Administración de empresas agropecuarias. San José, Costa Rica. EUNED, 286 p.
- Van Arendonk, JAM. 1986. Studies on the replacement policies in dairy cattle. IV. Influence of seasonal variation in performance and prices. *Livest. Prod. Sci.* 14, 15-28.
- Vargas, B; Groen, AF; Herrero, M; Van Arendonk, JAM. 2002. Economic values for production and functional traits in Holstein cattle of Costa Rica. *Liv. Prod. Sci.*: 75:101-116

- Vargas, B; Herrero, M; Van Arendonk, JAM. 2001. Interactions between optimal replacement policies and feeding strategies in dairy herds. *Liv. Prod. Sci.* 6:17-31.
- Vargas, B; Koops, WJ; Herrero, M; Van Arendonk, JAM. 1999. Modeling extended lactations of dairy cows of Costa Rica. *J. Dairy. Sci.* 83:1371-1380.
- Vargas, B; Van Arendonk, JAM. 2004. Genetic comparison of breeding schemes based on semen importation and local breeding schemes: framework and application to Costa Rica. *J. Dairy Sci.* 87:1496-1505.
- Vizcarra, JA; Wettemann, RP; Spitzer, JC; Morrison, DG. 1998 Body condition at parturition and postpartum weight gain influence luteal activity and concentrations of glucose, insulin, and nonesterified fatty acids in plasma of primiparous beef cows. *Journal of Animal Science.* 76:927-36.
- Williams, GL. 1990. Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle: a review. *Journal of Animal Science* 68:831–852.
- Wiltbank, JN. 1970. Research needs in beef cattle reproduction. *Journal of Animal Science* 31:755-762.
- Yavas, Y; Walton, JS. 2000 Postpartum acyclicity in suckled beef cows: a review. *Theriogenology*; 54:25-55.
- Zakari, AY; Molokwu, EC; Osori, DI. 1981 Effect of season on the oestrus cycle of cows (*Bos indicus*) indigenous to northern Nigeria. *Veterinary Record* 109: 213-215

Capítulo 1

EFECTO DEL DESTETE, SINCRONIZACIÓN Y SUPLEMENTACIÓN SOBRE LA DINÁMICA FOLICULAR, Y OVULACIÓN EN VACAS POSPARTO (*Bos indicus*) EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE COSTA RICA

Jaime Roberto Galindo Badilla

¹ Escuela de Agronomía, Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Postgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales Programa en Producción Animal Sostenible. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Telfax (506)237-5229, Apdo. postal 304-3000. e-mail: jgalindo20@yahoo.com

EFFECTO DEL DESTETE, SINCRONIZACIÓN Y SUPLEMENTACIÓN SOBRE LA DINÁMICA FOLICULAR, Y OVULACIÓN EN VACAS POSPARTO (*Bos indicus*) EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE COSTA RICA

Effect of weaning, synchronization and nutritional supplementation on follicular dynamics, and ovulation in postpartum *Bos indicus* cows in the humid tropics of Costa Rica

Galindo J.¹, Estrada S.², Galina C.S.³, Molina R.¹, Contreras D.A.³, Maquivar M.⁴

¹ *Escuela de Agronomía, Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, Alajuela, Costa Rica.*

² *Salud de Hato, Escuela de Medicina Veterinaria, Postgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales Programa en Producción Animal Sostenible. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica.*

³ *Departamento de Reproducción, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 DF, México*

⁴ *Department of Animal Science. The Ohio State University. 2027 Coffey Rd. Columbus, OH, USA 43210-1043.*

RESUMEN

Con el fin de evaluar el efecto del destete, sincronización y suplementación sobre la dinámica folicular, ovulación y ciclicidad, dos grupos de vacas (*Bos indicus*) de primer parto fueron utilizadas, SSD (Grupo suplementado + sincronización + destete, n= 11) y NSSD (Grupo no suplementado + sincronización + destete, n=15). El grupo (SSD) recibió por 44 días Citrocom® (5.5% PC, 2.85 Mcal ED), a razón de 1% del peso vivo. A los 60 días posparto promedio todos los animales fueron sincronizados con un progestágeno (Norgetomet) además de una inyección de Valerato de Estradiol (VE), al retiro del implante, se destetaron las crías por 72 horas y las vacas fueron expuestas a 2 toros. El punto más bajo de condición corporal (NADIR) que presentaron los animales del grupo suplementado fue de $37,5 \pm 3,4$ mientras que el grupo no suplementado lo presentó a los 22.3 ± 7.9 días ($P < 0.0001$). No se observaron diferencias entre los grupos en cuanto a capa dorsal de grasa y peso a lo largo del experimento. Al final de la sincronización en el SSD se observó que 81% (9/11) y en el NSSD el 60% (9/15) ovularon ($P > 0.05$). La proporción de animales que ciclaron al final del experimento en el grupo SSD fue 82% (9/11) mientras que en el grupo NSSD fue 73% (11/15) se observó que el grupo SSD ovula de forma más rápida que el NSSD (55.8 ± 7.8 y 94.5 ± 21.7 respectivamente) ($P < 0.05$). En conclusión, el efecto del amamantamiento, el efecto de los machos y de la sincronización mejoran la respuesta reproductiva de los animales, sin embargo, la duración del anestro

depende en gran medida de la presentación del NADIR y la evolución posterior a este punto. La suplementación no mejoró la respuesta reproductiva en cuanto a la proporción de ovulación, fertilidad y ciclicidad posterior al tratamiento.

Palabras clave: Anestro posparto, *Bos indicus*, NADIR, sincronización, suplementación.

SUMMARY

In order to measure the effect of weaning, synchronization and nutritional supplementation on follicular dynamics, ovulation and proportion of females with normal life span Corpus luteum a total of 26 *Bos indicus* postpartum cows divided in two groups SSD (n=11, nutritional supplementation, synchronization and weaning) and NSSD (n=15, synchronization and weaning). SSD received a concentrate (5.5% PC, 2.85 Mcal ED) at 1% of body weight. At 60 postpartum days in average all animals were synchronized using a progesterone implant (Crestar, Lab Intervet) plus an injection of estradiol valerate at the time of implant insertion. The lowest point of body condition score for the NSSD was $37,5 \pm 3,4$ days postpartum, while NSSD was 22.3 ± 7.9 days ($P < 0.0001$), no differences were observed between dorsal back fat and weight between groups. After implant withdrawal, calves were removed for 72 hours and the cows were exposed to a pair of bulls. No differences were observed between groups on body condition score, dorsal back fat, and weight throughout the experiment. At the final of synchronization, 81% (9/11) of the cows of supplemented group ovulated and in the NSSD just 60% (9/15) ($P > 0.05$). Proportion of females with normal life span Corpus luteum was similar between groups, 82% (9/11) for the SSD and 73% (11/15) for the NSSD group. Non-supplemented group ovulate fastest in comparison with supplemented group (55.8 ± 7.8 y 94.5 ± 21.7 respectively) ($P < 0.05$) In conclusion, at the point when the animals show the lowest body condition score, weight and dorsal back fat measures (NADIR) and starts to increase the variables is reflected in the ovarian activity. Weaning, male and synchronization effects increase the reproductive response, however, length of anestrus postpartum is greater influenced by the presentation of NADIR. Nutritionally supplementation did not affect the reproductive response.

Key words: Anestrus postpartum, *Bos indicus*, NADIR, synchronization, nutritionally supplementation.

1. INTRODUCCIÓN

El anestro posparto es uno de los principales factores que afectan la eficiencia reproductiva del ganado, particularmente el criado bajo condiciones tropicales al retrasar el reinicio de la actividad ovárica y por ende afectar los parámetros reproductivos. (Jolly *et al.*, 1995) El estado energéticamente negativo que sufre la vaca posterior al parto repercute sobre la secreción de las gonadotropinas, especialmente en la secreción de LH (Rhodes *et al.*, 1996, Bossis *et al.*, 1999). Asimismo, Roberson *et al.* (1992) indicaron que debido a una restricción en el consumo energético de los animales los patrones de gonadotropinas (FSH y LH) se encuentran afectados ya que estos son modulados por la condición corporal la cual actúa como una señal del estado general del animal. Una vez que los animales dejan de perder condición corporal y/o peso, el balance energético se equilibra, por lo que la retroalimentación negativa cesa y la secreción de GnRH y a su vez, la de las gonadotropinas se establece normalmente. En adición, existe suficiente evidencia indicando que la presencia del becerro ejerce un efecto negativo sobre la secreción de gonadotropinas, así Montiel y Ahuja (2005) en una revisión de literatura exponen que los principales factores que afectan la duración del período de anestro y el desarrollo de folículos maduros, son la incapacidad de los animales de ovular por la pobre nutrición y el efecto hormonal de la presencia de la cría en la vaca. Williams *et al.* (1996) sugieren que el amamantamiento inhibe la síntesis de GnRH lo que resulta en una deficiente frecuencia en la secreción de LH por ende, los folículos son incapaces de madurar y por lo tanto de ovular, ya que existe una incorrecta síntesis de estrógenos a nivel folicular. Para solucionar dicha problemática se ha puesto en práctica estrategias como diversas técnicas de destete, así, Pimentel *et al.* (1979), demostraron que el destete temprano (durante los primeros 90 días post-parto) podría incrementar los valores de concepción en un 43% y reducir el anestro post-parto en un 46%, a su vez, Quezada *et al.* (2001) encontraron que el método de separación de la cría al no permitirle tener contacto visual, auditivo y olfativo por 48 horas más la implementación de un programa de inducción del reinicio de la actividad ovárica por medios hormonales, incrementa la proporción de hembras que reinician la actividad ovárica expresada en ovulaciones y formación del cuerpo lúteo funcional y en consecuencia la probabilidad de establecer la gestación, por su parte Ruiz-Cortés *et al.* (1999) evaluaron el desarrollo folicular en vacas desde el momento del parto hasta el destete de forma natural, observando que durante los primeros 6 meses los folículos solamente llegan a crecer hasta los 8 mm, sin embargo no es sino hasta el séptimo mes en que el patrón de crecimiento cambia y los folículos crecen a un diámetro mayor. Al respecto Webb *et al.* (2004) evaluaron distintos tipos de destete en vacas con un promedio de 70 días posparto, además de la utilización de un programa de

inducción hormonal y bajo el efecto de la presencia del toro, demostraron que el efecto de la separación, más la adición del tratamiento hormonal y la presencia del macho es una fórmula útil para inducir a las vacas a ciclar.

Con el objetivo de evitar pérdidas drásticas de peso y condición corporal, se han practicado sistemas de suplementación alimenticia de forma estratégica con resultados variables, Soto *et al.* (1997) estudiaron el efecto de la suplementación alimenticia en el desempeño productivo y reproductivo en vaquillas Brahman, sus resultados sugieren que la suplementación mejora los parámetros productivos como ganancia diaria de peso vivo y condición corporal; sin embargo, encontraron que la actividad ovárica, respuesta al tratamiento hormonal, tasa final de preñez y número de servicios por concepción fueron similares entre grupos.

1.1. OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el uso de la suplementación alimenticia, destete y sincronización sobre parámetros productivos y reproductivos en vacas *Bos indicus* postparto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización.

El estudio se llevó a cabo en la finca “La Vega” perteneciente al Instituto Tecnológico de Costa Rica, ubicada en San Carlos, provincia de Alajuela, a una altura de 172 metros sobre el nivel del mar, el clima de la región es clasificado como del tipo tropical húmedo, con una precipitación anual de 3062mm (Anexo 1), una temperatura promedio de 27.3°C (Anexo 2) y una humedad relativa de 85.3% (Anexo 3).

2.2 Animales.

Se utilizaron dos grupos de novillas (*Bos indicus*) de primer parto, Grupo suplementado + sincronización + separación temporal (**SSD**) n= 11 y Grupo no suplementado + sincronización + separación temporal (**NSSD**) n=15

2.3 Fases Experimentales.

El estudio fue dividido en tres fases, la fase de selección (FS) comprendió al periodo que precede al hasta el momento en que fueron iniciadas las evaluaciones reproductivas. Asimismo se determinó que para el momento de parir las novillas de grupo SSD tenían una edad promedio de 1015 ± 63 días y un peso promedio de 476.4 ± 50.3 kg, y el grupo NSSD un promedio de 1031 ± 114 días con 462.3 ± 38.6 kg. En esta fase se realizaron evaluaciones del

peso y determinaciones de la condición corporal y capa dorsal de grasa. La fase de Suplementación (FAS) se llevó a cabo a partir de los 23.5 ± 3.4 días del parto. El grupo (SSD) fue sometido a un programa de suplementación mediante un concentrado alimenticio (Citrocom® Casa Dos Pinos, Costa Rica 5.5% PC, 2.85 Mcal ED) (Anexo 4), a razón de 1% del peso vivo, además de la adición de sales minerales (Pecutrin®, Lab. Bayer, Costa Rica). La fase de suplementación comprendió el suministro del alimento a los animales diariamente por 44 días.

Al grupo no suplementado (NSSD) se le suministró solamente sales minerales *ad libitum*, todos los animales fueron mantenidos en potreros a base de Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*), y Ratana (*Ischaemum indicum*). Adicionalmente se administró por vía intramuscular 25 ml/animal, de fósforo y vitamina B12 (Fosfotón®, SERVINSUMOS, S.A., Costa Rica); así como la administración de 5 ml/animal de vitamina E y selenio (Selenie®, Lab. VIRBAC, Costa Rica) Durante esta fase, se tomaron datos de condición corporal y peso de los animales, así como evaluaciones ultrasonográficas y muestreos sanguíneos para la cuantificación de la progesterona, con el fin de determinar si los animales estaban ciclando.

Finalmente la fase de inducción de la actividad ovárica (FCR), en la cual a los 60 días posparto en promedio todos los animales fueron tratados mediante un implante auricular subcutáneo de progesterona sintética a base de Norgestomet (Crestar®, Lab. Intervet) por nueve días, además de una inyección de Valerato de Estradiol (VE) por vía intramuscular. Posteriormente al retiro del implante, se destetaron las crías de los animales por 72 horas período en el cual estas no pudieron mamar o interactuar con la madre. Asimismo, fueron expuestas a 2 toros previamente evaluados en su salud reproductiva, los cuales fueron colocados dentro del grupo al momento del retiro del implante.

2.4 Evaluaciones Reproductivas.

Con el fin de evaluar la actividad ovárica de los animales se realizaron mediciones dos veces por semana por medio de un equipo de ultrasonido Aloka SSD-500 mediante un transductor lineal de 5 Mhz, en el cual se midió el diámetro del folículo dominante al momento de la evaluación. Asimismo, se tomaron muestras sanguíneas de los animales, por punción de la vena o arteria coccígea, con similar frecuencia al de las evaluaciones reproductivas. Los valores séricos de progesterona fueron analizados por medio de la técnica de Radioinmunoanálisis en fase sólida (Pulido *et al.*, 1991)

Con el objetivo de evaluar la dinámica folicular, tiempo de ovulación post retiro de implante se procedió a la realización de evaluaciones ultrasonográficas seriadas; se seleccionaron 6 animales de cada grupo, 24 horas posteriores al retiro del implante se procedió a la realización

de ultrasonidos en forma intensiva cada 6 horas por un espacio de 120 horas, con el propósito de evaluar el desarrollo folicular hasta la ovulación.

Finalmente se llevaron a cabo muestreos sanguíneos por 50 días posteriores a la entrada de los machos con el fin de caracterizar la presentación del diestro de duración normal en cada animal, a través del desarrollo de un cuerpo lúteo de vida normal, además se continuó el pesaje y la evaluación de la CC y CDG durante este período.

2.4.1 Parámetros productivos.

Con el fin de determinar el estado nutricional de los animales se evaluó la condición corporal (C.C.), cada 15 días en una escala de 1 a 5 (Pullan, 1979) donde 1 es un animal emaciado y 5 un animal obeso. Por otra parte se realizó la medición de la capa dorsal de grasa lumbar (CDG) por medio de ultrasonografía utilizando un equipo (Aloka SSD-500) con una sonda de 7.5 MHz. (Rosiles *et al.* 2005) Se realizaron mediciones del peso de los animales cada 15 días a lo largo del experimento, con el objetivo de evaluar y caracterizar el punto del más bajo de peso y de condición corporal (NADIR), así como la ganancia de peso a lo largo del período de alimentación de los animales. El punto denominado NADIR, representa en una grafica la máxima pérdida de condición, peso y capa dorsal de grasa en relación con el tiempo de haber parido.

2.4.2. Parámetros Reproductivos.

Los animales se clasificaron de acuerdo a las estructuras ováricas presentes al momento del examen ultrasonográfico y de acuerdo al perfil hormonal de progesterona en:

- A) Presencia de Cuerpo lúteo acompañada de concentraciones mayores a 1 ng/ml de progesterona indicativas de plena funcionalidad de la estructura ovárica.
- B) Presencia de folículos ≥ 9 mm, sin la presencia de concentraciones de progesterona superiores a 1 ng/ml
- C) Presencia de folículos < 9 mm de diámetro sin la presencia de concentraciones superiores a 1 ng/ml
- D) Ovario estático. Aquel ovario que no tenga desarrollo folicular y ausencia de cuerpo lúteo.

2.5 Análisis Estadístico.

Con el fin de determinar diferencias en los porcentajes de ciclicidad en las distintas etapas así como las proporciones de animales clasificados de acuerdo a la categoría ovárica se realizaron pruebas de comparación de proporciones independientes (Dawson-Sanders y Trapp, 1997). El porcentaje final de ovulaciones y gestaciones se analizó mediante una prueba de Chi-cuadrado.

Los resultados de cambio de peso fueron analizados mediante un diseño completamente aleatorizado usando el peso inicial como covariable de acuerdo al siguiente modelo (Steel y Torrie, 1980):

$$Y_{ij} = \mu_i + \tau_i + \beta(X_{ij} - x_{..}) + e_{ij}$$

Donde:

μ_i = Promedio general (Ganancia Diaria de Peso)

τ_i = Efecto del tratamiento.

β = Coeficiente de regresión de la variable

e_{ij} = Error

Finalmente, para el análisis de la condición corporal y la CDG se realizó una regresión polinomial, así como el cálculo del coeficiente de correlación para cada variable.

3. RESULTADOS

En cuanto a la condición corporal de los animales, se puede observar en la (Figura 1) que ambos grupos antes de la época de partos mostraban similares condiciones, una vez que los animales parieron, se muestra la evolución de la condición corporal, en la que tanto el grupo suplementado como el que no lo recibió presentaron similares puntuaciones promedio de CC. El punto más bajo de condición corporal (NADIR) que presentaron los animales del grupo suplementado fue de 37.5 ± 3.4 mientras que el grupo no suplementado lo presentó a los 22.3 ± 7.9 días ($P < 0.0001$), indicando que la presentación del NADIR en los animales del grupo suplementado fue más tardía en comparación con los no suplementados, en adición el grupo SSD mostraron una tendencia superior en condición corporal posterior al tratamiento inductor, en comparación con los animales del grupo NSSD, sin embargo no se observaron diferencias significativas.

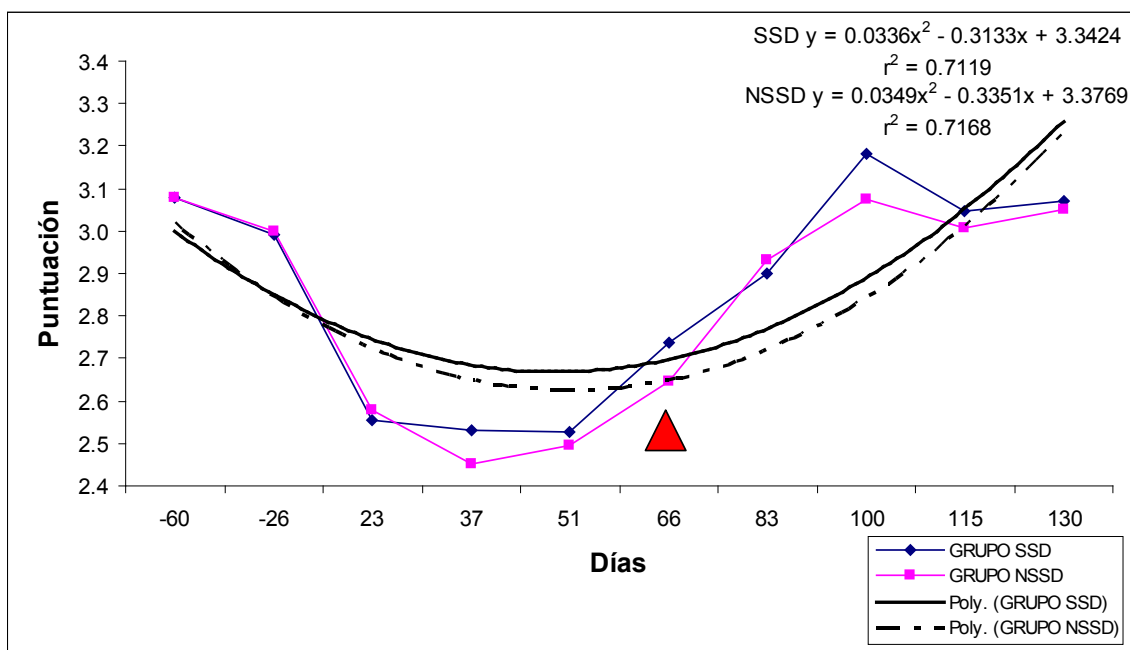


Figura 1. Evolución de la Condición corporal a través del experimento.

▲ Momento de la sincronización.

Con respecto a la capa dorsal de grasa no se observaron diferencias significativas ya que los resultados obtenidos son muy similares, en la (Figura 2) se muestra que presenta una tendencia similar a la de condición corporal, sin embargo para el momento de la sincronización (indicada por un triángulo) se observó un incremento en la ganancia de la capa dorsal de la grasa misma que semanas posteriores sufre un descenso. El grupo suplementado presenta un coeficiente de correlación entre tiempo y pérdida – ganancia de grasa de 0.40, mientras que el grupo no

suplementado de 0.31, por otra parte, se determinó que el NADIR de capa dorsal de grasa y de peso se presenta en los animales no suplementados a los 23 días de haber parido, mientras que para el grupo suplementado el NADIR de CDG se presenta a los 23 días y de peso a los 37 días.

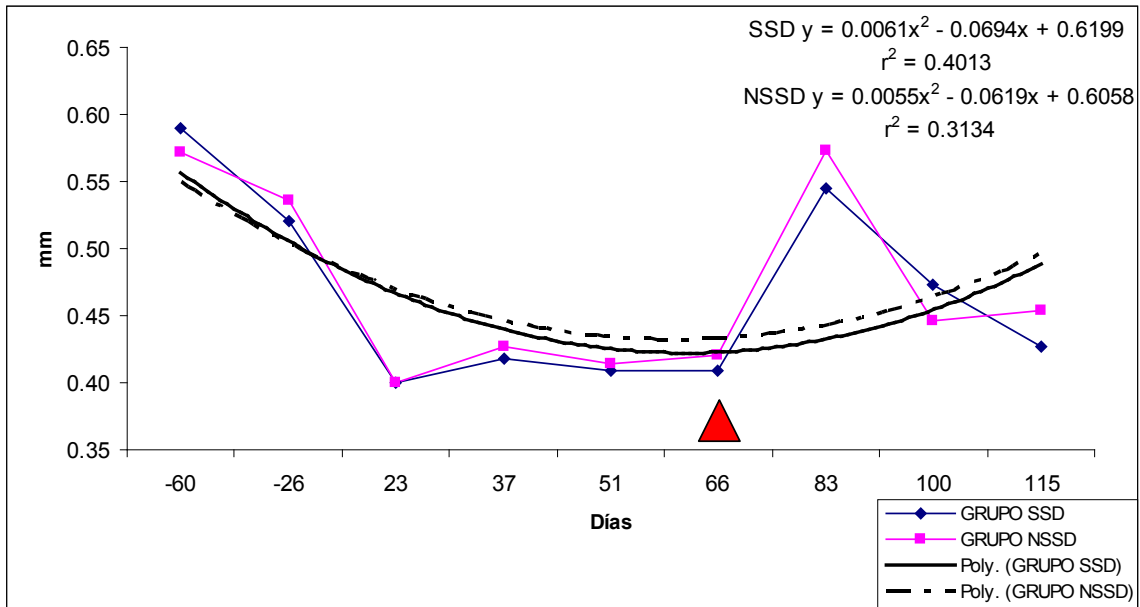


Figura 2. Mediciones promedio de la capa dorsal de grasa (CDG)

▲ Momento de la sincronización.

Con respecto al peso se observa en la (Figura 3) que estadísticamente no hay diferencias significativas entre los pesos promedio del grupo suplementado como no suplementado, mostrando similares coeficientes de correlación, 0.76 para el grupo suplementado y 0.72 para el no suplementado.

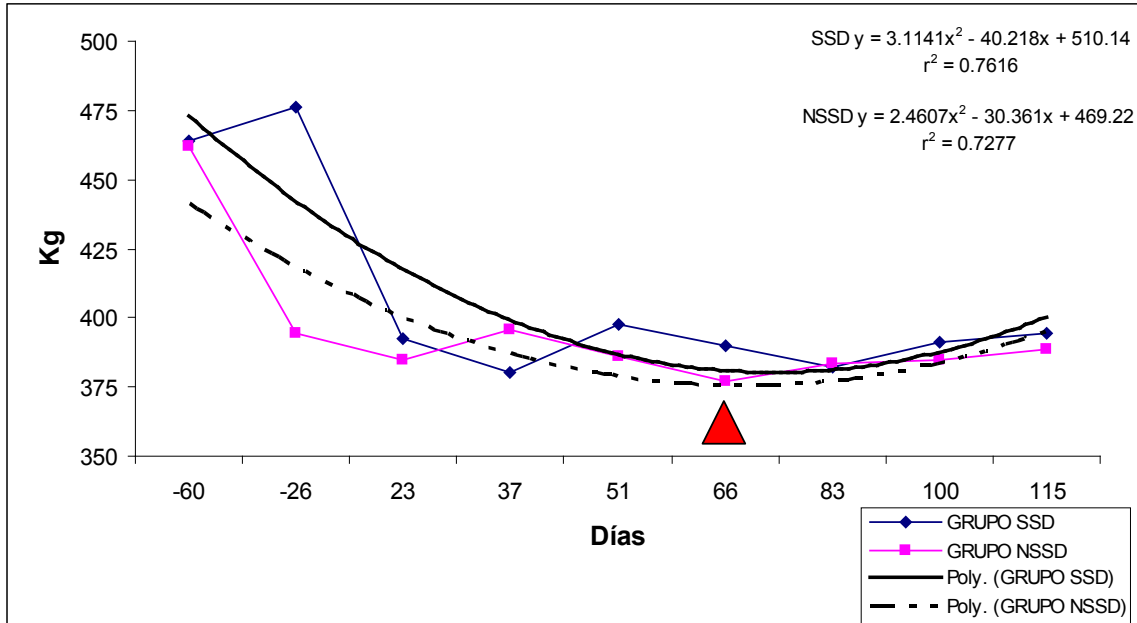


Figura 3. Evolución del peso promedio de los grupos experimentales.

▲ Momento de la sincronización.

Por otra parte el 73 % (8/11) de las vacas del grupo suplementado al inicio del experimento mostraron un cuerpo lúteo funcional antes de la sincronización (Figura 4), mientras que en el grupo no suplementado el 27% (4/15) mostraron un cuerpo lúteo ($P < 0.05$) (Figura 5). Al final de la sincronización en el grupo suplementado se observó que el 81% (9/11) de los animales ovularon, mientras que en el grupo NSSD el 60% (9/15) ovularon sin embargo no se observaron diferencias significativas. Finalmente la proporción de animales que ciclaron una vez terminado la fase de sincronización en el grupo SSD fue de 82% (9/11) mientras que en el grupo NSSD fue de 73% (11/15) no observándose diferencia estadística.

La proporción de animales con ovarios estáticos para ambos grupos, disminuye drásticamente a partir de que los animales llegan al NADIR de condición corporal y capa dorsal de grasa entre los 40 y 44 días de haber parido.

En cuanto a la evaluación intensiva de los animales seleccionados (Figura 6), se determinó que durante las evaluaciones intensivas para ambos grupos el 66% de los animales ovularon (4/6), en adición, se observó que el grupo no suplementado ovula de forma más rápida que el grupo suplementado (55.8 ± 7.8 y 94.5 ± 21.7 respectivamente) ($P < 0.05$).

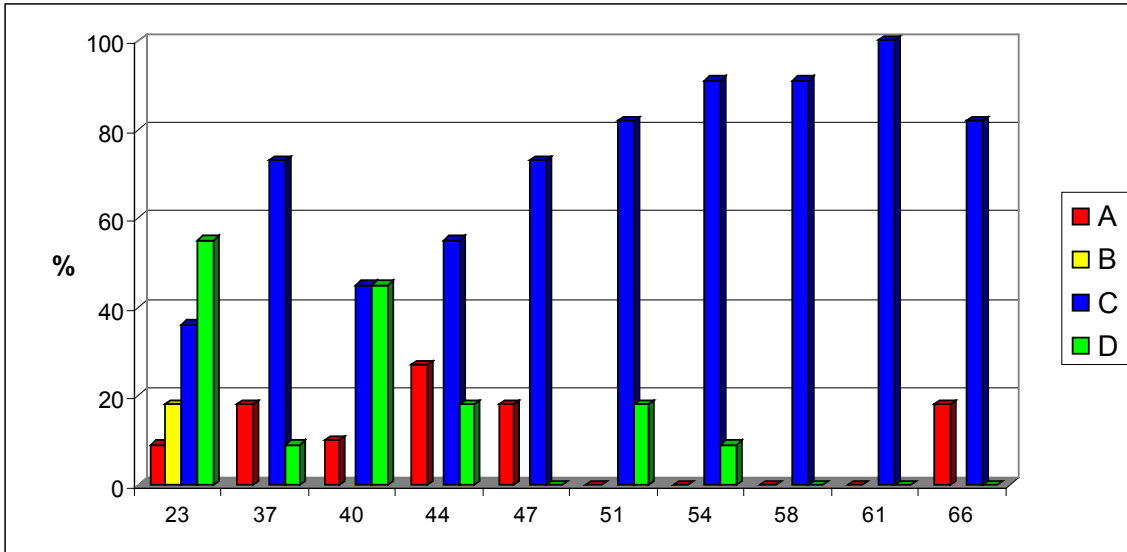


Figura 4. Estructuras Ováricas de los hallazgos de US en el Grupo Suplementado, Sincronizado y destetado (SSD). A) Presencia de Cuerpo lúteo, B) Folículos > 9 mm, C) Folículos < 9 mm, D) Ovario estático.

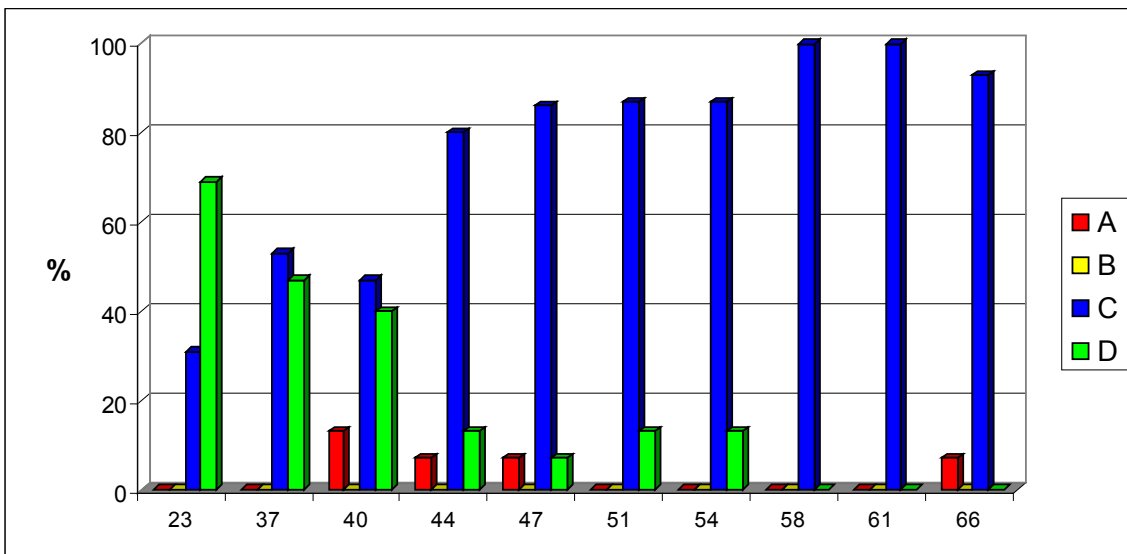


Figura 5. Estructuras Ováricas de los hallazgos de US en el Grupo No Suplementado, Sincronizado y destetado (NSSD). A) Presencia de Cuerpo lúteo, B) Folículos > 9 mm, C) Folículos < 9 mm, D) Ovario estático.

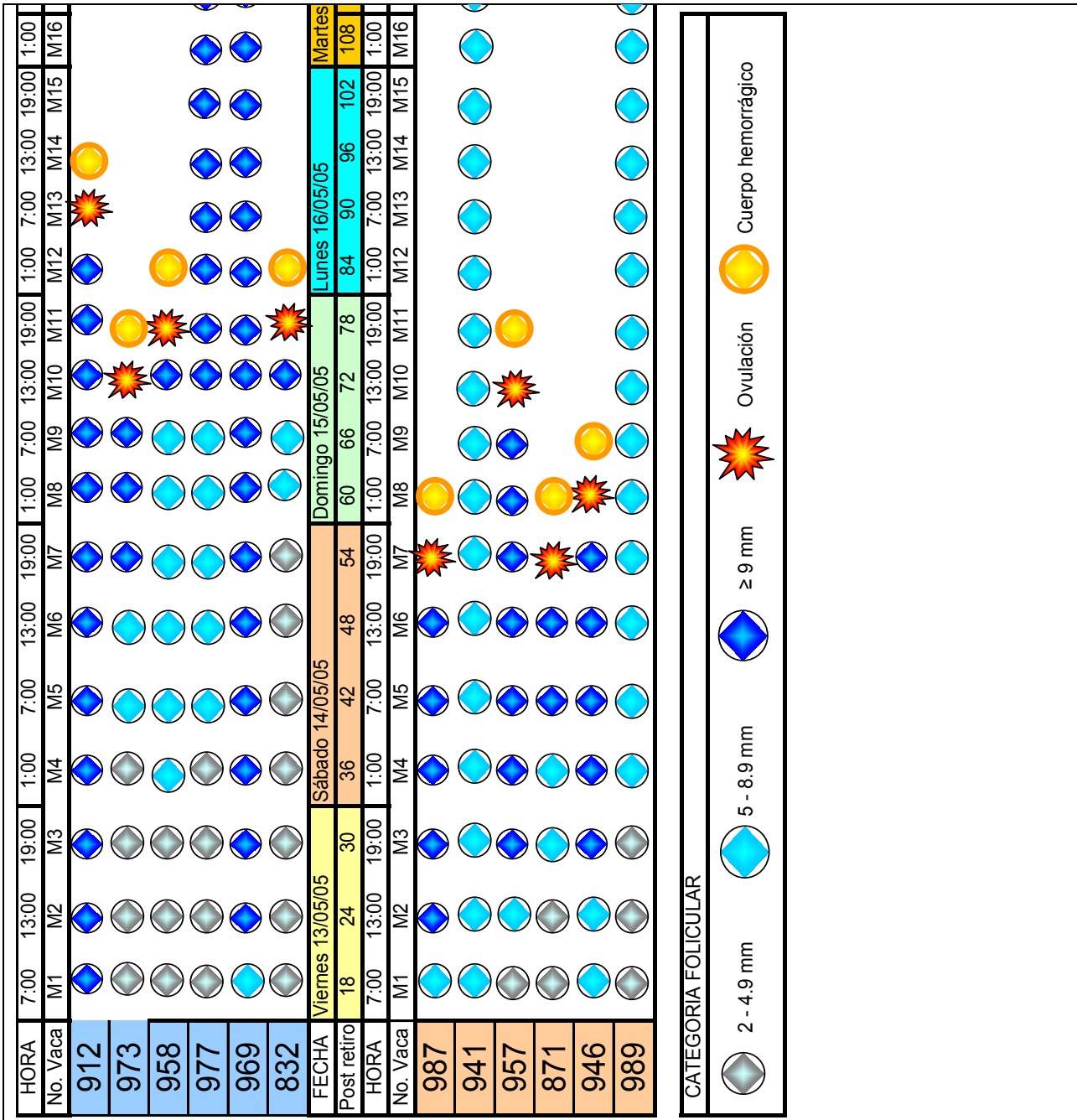


Figura 6. Desarrollo folicular durante el muestreo intensivo.

4. DISCUSIÓN

Uno de los principales factores que afectan el reinicio de la actividad ovárica post parto son el estado nutricional de los animales (medida en peso, condición corporal y capa dorsal de grasa) y el efecto del amamantamiento (Short y Adams, 1988; Randel, 1990). Por lo tanto diversas investigaciones se han llevado a cabo con el fin de conocer el efecto de la suplementación sobre el desempeño productivo y reproductivo de los animales, sin embargo se han encontrado resultados variables, así Soto *et al.*, (1997) observaron que la suplementación mejora el desempeño productivo no así el reproductivo, en contraste Maquivar *et al.* (2006) observaron que la suplementación en novillas estimula el inicio de la actividad ovárica, sin embargo el desempeño productivo reflejado en la ganancia diaria de peso y en el desarrollo de la condición corporal fueron similares entre los animales que recibieron el suplemento y los que no lo hicieron. En el presente estudio se pudo observar que tanto los animales suplementados como los que no fueron, presentaron valores similares tanto en peso, condición corporal así como de capa dorsal de grasa, reflejando la variabilidad en cuanto a la respuesta encontrada por otros autores (Soto *et al.* 1997, Randel, 1990). En adición, Sinclair *et al.* (2002) observaron que la puntuación de la condición corporal al parto es de suma importancia, ya que las vacas que paren con una buena condición corporal (3 en una escala de 0 a 5) presentan el estro con ovulación a los 48 días en promedio, en comparación con las vacas que paren con bajas puntuaciones de condición corporal (2) que ovulan hasta el día 55 post-parto. Los resultados de la presente investigación sugieren que los animales una vez que alcanzan el NADIR (entre los 20 y 30 días postparto) comienzan a ganar condición corporal y capa dorsal de grasa, misma que es reflejada en la disminución de los animales con ovarios estáticos, observándose que para los 80 días post parto (fecha en que terminó la fase de sincronización) el 81% (9/11) de los animales del grupo suplementado ovularon, mientras que en el grupo NSSD el 60% (9/15) presentaron un CL funcional, esto pudiera explicarse por la condición corporal en la cual están pariendo los animales tanto del grupo suplementado como del no suplementado la cual se situó entre los 2.5 a 3 (en una escala de 1 a 5). Asimismo Rekwot *et al.* (2000) concluyeron que vacas estimuladas por medio de toros reinician su actividad ovárica entre los 60 y los 80 días postparto. Los resultados del presente estudio tienden a reafirmar estos resultados, ya que se observó que para el final del experimento el 73% (19/26) reiniciaron su actividad ovárica. Por otra parte Vizcarra *et al.* (1998) concluyeron que la condición corporal del animal antes del parto y posterior a este evento determina en gran medida el reinicio de la actividad ovárica, en el presente estudio se observó que el punto más bajo de condición corporal (NADIR) que presentaron los animales del grupo suplementado fue más tardío que en los animales no suplementados, sugiriendo que la pérdida de reservas energéticas reflejadas en la condición

corporal es más drástica en los animales no suplementados, asimismo Dunn y Kaltenbach (1980) observaron que cuando los animales durante el período preparto que no presentan pérdidas de peso, en el 91% de los casos se pueden presentar vacas en estro antes de los 60 días postparto, en adición sugieren que uno de los factores más importantes es el estado nutricional de los animales en el preparto en comparación con el postparto, ya el estado en el que paren los animales determinará la duración del anestro (Randel 1980).

Holroyd *et al.* (1979) en una evaluación en 5 hatos a lo largo de 4 años, observaron que la condición corporal de los animales se encuentra influenciada por efecto del año y en general los animales tienen el mismo comportamiento productivo de acuerdo a la época del año, tanto en los animales del grupo suplementado como del no suplementado quienes paren en similares condiciones tanto de condición corporal como de capa dorsal de grasa y peso presentaron similar comportamiento productivo y reproductivo, Tegegne *et al.* (1992) sugieren que las vacas en anestro posparto no reinician su actividad ovárica hasta que alcanzan un peso y condición corporal similar a la que parieron, los resultados del presente trabajo tienden a reafirmar esta hipótesis, ya que se observó que las variables productivas estudiadas (peso, condición corporal y capa dorsal de grasa) una vez que los animales recuperan condiciones similares a las que presentaban cuando ocurrió el parto se incrementa la proporción de animales que inician su actividad ovárica. Por otra parte, se ha observado que los animales después de la primera ovulación posparto tienen la incapacidad de mantener ciclos estrales normales, ya que los folículos se luteinizan “parcialmente” por lo cual el cuerpo lúteo sufre lisis temprana (Lucy *et al.*, 1992), en el presente estudio, la proporción de animales que ciclaron una vez terminado la fase de sincronización en el grupo SSD fue de 82% mientras que en el grupo NSSD fue de 73%.

Browning *et al.* (1994) sugieren que tanto el efecto del amamantamiento como el consumo de una dieta energética influyen sobre el reinicio de la actividad ovárica y la presentación de estros. Por otra Galina *et al.* (2001) en una revisión de literatura expone los diferentes sistemas de destete temporal los cuales tienen un efecto positivo en el reinicio de la actividad ovárica al incrementar una vez destetadas las crías, la proporción de animales que ovulan y presentan un CL funcional, asimismo, Williams *et al.* (1996) demostraron que el efecto de la succión suprime la secreción de LH y por ende las vacas no presentan maduración final de los folículos y en consecuencia incapacidad para ovular, por esta razón la ausencia de la cría, así como la presencia del macho y el uso de fármacos sincronizadores tienen un efecto positivo en la maduración final del folículo y en la ovulación.

5. CONCLUSIONES

En el presente estudio se observó que los animales una vez que dejan de perder peso, condición corporal y capa dorsal de grasa, se refleja en la actividad ovárica, ya que los animales con ovarios estáticos comienzan a tener desarrollo folicular, cabe señalar que tanto el efecto del amamantamiento, el efecto de los machos y el efecto de la sincronización mejoran la respuesta reproductiva de los animales, sin embargo, la duración del anestro depende en gran medida de la presentación del NADIR y la evolución posterior a este punto, asimismo la suplementación no mejoró la respuesta reproductiva en cuanto a proporción de ovulación, fertilidad y ciclicidad posterior al tratamiento. Es necesario realizar más investigaciones al respecto con el fin de determinar los factores que afectan la respuesta a la suplementación y la relación existente entre las variables productivas (peso, condición corporal y capa dorsal de grasa) como predictores de la duración del anestro postparto.

6. BIBLIOGRAFIA

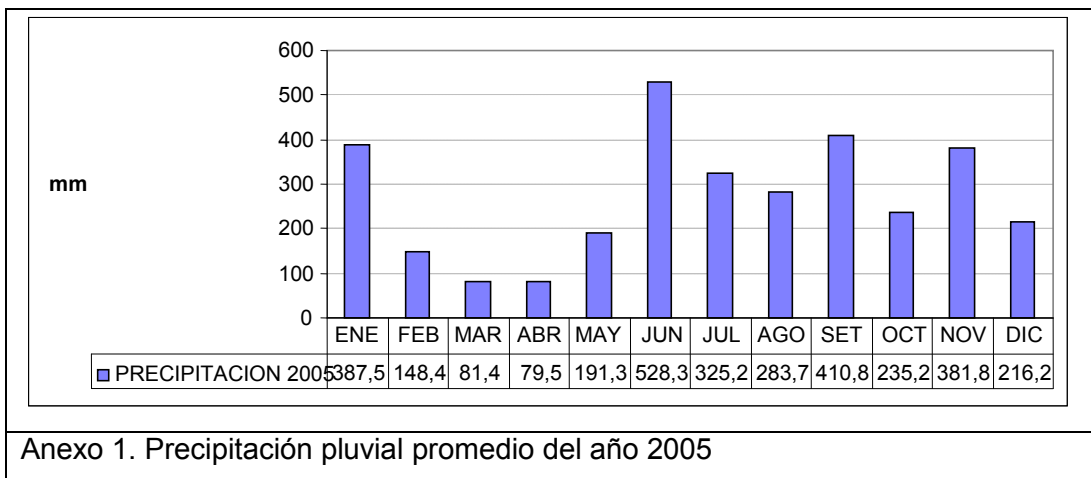
- Bossis, I., Wettemann, R.P., Welty, S.D., Vizcarra, J.A., Spicer, L.J., Diskin, M.G. 1999. Nutritionally induced anovulation in beef heifers: Ovarian and endocrine function preceding cessation of ovulation. *J. Anim. Sci.* 77: 1536-1546.
- Browning, R. Jr., Robert, B.S., Lewis, A.W., Neuendorff, D.A., Randel, R.D. 1994. Effects of postpartum nutrition and once-daily suckling on reproductive efficiency and preweaning calf performance in fall-calving Brahman (*Bos indicus*) cows. *J. Anim. Sci.* 72: 984 – 989
- Dawson-Saunders, B., Trapp, G.R. 1997. Bioestadística Médica. 2nd. Ed. Manual Moderno, Mexico, Mexico City.
- Dunn, T.G., Kaltenbach, C.C. 1980. Nutrition and the postpartum interval of the ewe, sow and cow. *J. Anim. Sci.* 51 Suppl 2: 29-39
- Galina, C.S., Rubio, I., Basurto, H., Orihuela, A. 2001. Consequences of different suckling systems for reproductive activity and productivity of cattle in tropical conditions. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 72: 255 – 262.
- Holroyd, R.G., Arthur, B.A., Mayer, B.G. 1979. Reproductive performance of beef cattle in northwestern Queensland. *Aust. Vet. J.* 55: 257-62.
- Jolly P.D., Mcdougall, S., Fitzpatrick, L.A., Macmillan, K.L., Entwistle, K.W. 1995. Physiological effects of undernutrition on postpartum anoestrus in cows. *J. Reprod. Fertil.* Suppl 49: 477-492.
- Lucy, M.C., Savio, J.D., Badinga, L., De La Sota, R.L., Thatcher, W.W. 1992. Factors that affect ovarian follicular dynamics in cattle. *J. Anim. Sci.* 70: 3615-3626
- Maquivar, M., Galina, C.S., Verduzco, A., Galindo, J., Molina, R., Estrada, S. 2006. Reproductive response in supplemented heifers in the humid tropics of Costa Rica. *Anim. Reprod. Sci.* 93:16-23.

- Montiel, F., Ahuja, C. 2005. Body condition score and suckling as factors influencing the duration of postpartum anestrus in cattle: a review. *Anim. Reprod. Sci.* 85: 1 – 26.
- Tegegne, A., Entwistle, K.W., Mukasa-Mugerwa, E. 1992. Effects of supplementary feeding and suckling intensity on postpartum reproductive performance of small East African Zebu cows. *Theriogenology*. 38: 97-106.
- Pimentel, C.A., Deschamps, J.C., De Oliveira, J.A.F., Cardelino, R. 1979. Effects of early weaning on reproductive efficiency in beef cows. *Theriogenology* 11: 412-427.
- Pulido, A., Zarco L., Galina, C.S., Murcia, C., Flores, G., Posadas E. 1991. Progesterone metabolism during storage of blood samples from Gyr cattle: Effects of anticoagulant time and temperature of incubation. *Theriogenology* 35: 965-975.
- Pullan, N.B. 1979. Productivity of White Fulani cattle on the Jos Plateau, Nigeria. I. Herd structures and reproductive performance. *Trop. Anim. Hlth. Prod.* 11: 231–238.
- Quesada, Y., Estrada, S., Cubero, M., Garcia, M., Galina, C.S., Molina, R., Orihuela, A. 2001. A note on the effects of calf stimuli on the response of Zebu cows to Synchron-mate-B. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 71: 183-189.
- Randel, R.D. 1980. Nutrition and postpartum rebreeding in cattle. *J. Anim. Sci.* 68: 853 – 862.
- Randel, R.D. 1990. Nutrition and postpartum rebreeding in cattle. *J. Anim. Sci.* 68: 853 - 62.
- Rekwot, P.I., Ogwu, D., Oyedipe, E.O. 2000. Influence of bull biostimulation, season and parity on resumption of ovarian activity of zebu (*Bos indicus*) cattle following parturition. *Anim. Reprod. Sci.* 63: 1-11.
- Rhodes, F.M., Entwistle, K.W., Kinder, J.E. 1996. Changes in ovarian function and gonadotropin secretion preceding the onset of nutritionally induced anestrus in *Bos indicus* heifers. *Biol. Reprod.* 55: 1437-43.

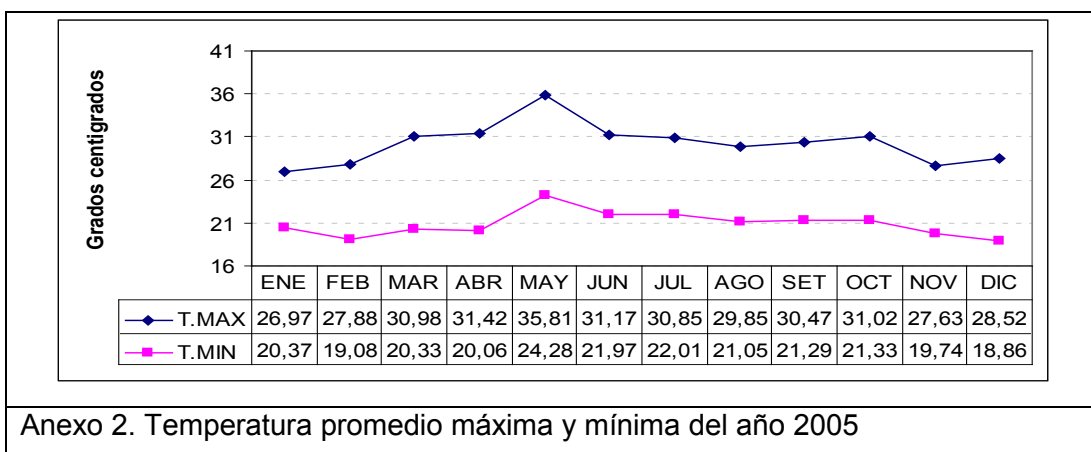
- Roberson, M.S., Stumpf, T.T., Wolfe, M.W., Cupp, A.S., Kojima, N., Werth, L.A., Kittok, R.J., Kinder, J.E. 1992. Circulating gonadotrophins during a period of restricted energy intake in relation to body condition in heifers. *J. Reprod. Fertil.* 96: 461- 469.
- Rosiles, V.A., Galina, C.S., Maquivar, M., Molina, R., Estrada, S. 2005. Ultrasonographic screening of embryo development in cattle (*Bos indicus*) between days 20 and 40 of pregnancy. *Anim. Reprod. Sci.* 90: 31-37.
- Ruiz-Cortés, Z.T., Olivera-Angel, M. 1999. Ovarian follicular dynamics in suckled zebu (*Bos indicus*) cows monitored by real time ultrasonography. *Anim. Reprod. Sci.* 54: 211 – 220.
- Short, R.E., Adams, D.C., 1988. Nutritional and hormonal interrelationships in beef cattle reproduction. *Can. J. Anim. Sci.* 68: 29.
- Sinclair, K.D., Revilla, R., Roche, J.F., Quintans, G., Sanz, A., Mackey, D.R., Diskin, M.G. 2002. Ovulation of the first dominant follicle arising after day 21 postpartum in suckling beef cows. *Anim. Sci.* 75: 115-126.
- Soto, C.R., Galina, C.S., Rubio, I., Castillo, E., Basurto, H. 1997. Efecto de la suplementación alimenticia sobre el desempeño productivo y reproductivo de vaquillas Brahman a pastoreo en el trópico húmedo de México. *A.L.P.A.* 5: 65-78.
- Steel, G.R., Torrie, H.J. 1980. Principles and procedures in statistics. A biometrical approach. 2da Ed. USA, Mc Graw Hill.
- Vizcarra, J.A., Wettemann, R.P., Spitzer, J.C., Morrison, D.G. 1998. Body condition at parturition and postpartum weight gain influence luteal activity and concentrations of glucose, insulin, and nonesterified fatty acids in plasma of primiparous beef cows. *J. Anim. Sci.* 76: 927 – 936.
- Webb, C., Galina, C.S., Molina, R., Maquivar, M., Estrada, S. 2004. Efecto de dos tipos de destete y la aplicación de un progestágeno sobre la respuesta a celo y fertilidad en vacas cebuínas (*Bos indicus*) en el trópico húmedo. *Arch. Med. Vet.* 36: 147-154.

Williams, G.L., Gazal, O.S., Guzman Vega, G.A., Stanko, R.L. 1996. Mechanisms regulating suckling-mediated anovulation in the cow. *Anim. Reprod. Sci.* 42: 289 - 297.

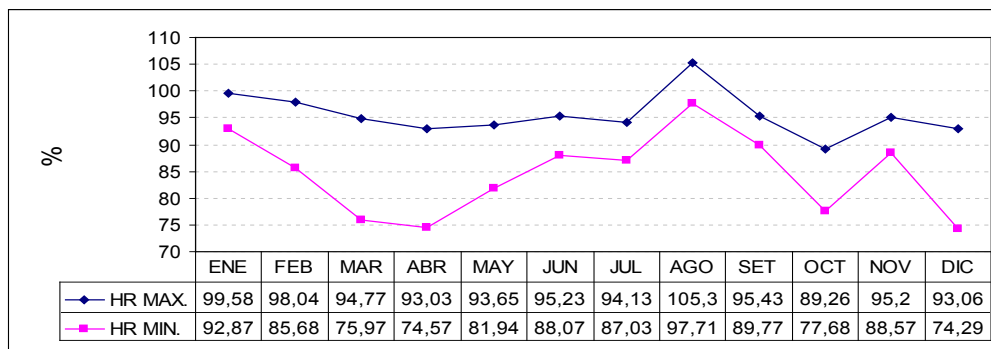
7. ANEXOS



Anexo 1. Precipitación pluvial promedio del año 2005



Anexo 2. Temperatura promedio máxima y mínima del año 2005



Anexo 3. Humedad Relativa promedio máxima y mínima del año 2005

Fuente: Centro Metereológico del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos, Departamento de Ciencias. Estación Número 069567 Latitud Norte 10° 22" Latitud Oeste 84° 31" Altura 160msnm.

Anexo 4. Concentrado Citrocom® Peletizado casa Dos Pinos, Costa Rica.

CONTENIDO	RANGO	UNIDADES
HUMEDAD	(max)	13.50%
PROTEINA CRUDA	(min)	5.50%
EXTRACTO ETÉREO	(min)	1.50%
FIBRA CRUDA	(max)	16.00%
ENERGÍA DIGESTIBLE	(min)	2850 Mcal/kg
CALCIO	(min-max)	1.2-3.0%
FÓSFORO	(min)	0.1%

Ingredientes: Subproductos de la industria de la naranja (pulpa y cáscara).

Capítulo 2

MODELO ESTOCÁSTICO PARA EVALUACIÓN BIOECONÓMICA DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN BOVINO DE CRÍA Y ENGORDE EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE COSTA RICA

Jaime Roberto Galindo Badilla

Escuela de Agronomía, Instituto Tecnológico de Costa Rica, San Carlos, Alajuela, Costa Rica. Postgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales Programa en Producción Animal Sostenible. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. Telfax (506)237-5229, Apdo. postal 304-3000. e-mail: jgalindo20@yahoo.com

RESUMEN

Se construyó un modelo estocástico de simulación representativo de un sistema de producción bovino de cría y engorde bajo condiciones de pastoreo. El modelo se utilizó para estimar el rendimiento bioeconómico anual del sistema y para evaluar la importancia relativa de distintas variables de entrada sobre 2 parámetros de rendimiento de salida del sistema: *kilogramos de ternero destetado por vaca expuesta a toro* y *utilidad neta*. Los resultados finales se presentaron en forma de valores económicos a nivel de unidad de producción (Δ utilidad neta/ Δ variable entrada). De acuerdo con el modelo la tasa de preñez es la variable biológica que presenta mayor impacto sobre estos 2 parámetros, estimándose un valor económico de 868 ± 22 USD ($R^2=0.24$). En segundo plano, el periodo abierto y el peso presentaron valores económicos de -181.2 ± 7.45 USD ($R^2=0.11$) y 101.8 USD ($R^2=0.06$). Otras variables tales como el rendimiento en canal (1125 ± 117.1 USD, $R^2=0.02$), la tasa de mortalidad predestete (-1381.4 ± 116.5 USD, $R^2=0.03$) y tasa de descarte involuntario en adultos (-2613.5 ± 233.5 USD, $R^2=0.02$) presentaron también altos valores económicos, pero con un menor impacto relativo sobre las utilidades debido a que presenta menor rango de variación. De estos resultados se infiere que las variables reproductivas son las más determinantes en la rentabilidad de una finca ganadera de cría y engorde.

Palabras claves: modelos de simulación, ganado de carne, valores económicos.

SUMMARY

A stochastic simulation model was built in order to represent a beef breeding-and-fattening range production system. Model was used to estimate annual bio-economic performance of the production unit and to assess relative importance of several input variables on 2 main output performance parameters: *kilograms of calf weight weaned per cow exposed to breeding* and *net income*. Final results were expressed in terms of economic values for the production unit (Δ annual net income/ Δ input variable). According to the model pregnancy rate was the variable with the highest impact on these 2 output parameters, with an estimated economic value of 868 ± 22 USD ($R^2=0.24$). On a second plane *days open a market live-weight* presented economic values of -181.2 ± 7.45 USD ($R^2=0.11$) y 101.8 USD ($R^2=0.06$). Other variables, such as dressing percentage (1125 ± 117.1 USD, $R^2=0.02$), pre-weaning mortality rate (-1381.4 ± 116.5 USD, $R^2=0.03$) and cow involuntary culling rate (-2613.5 ± 233.5 USD, $R^2=0.02$) showed high economic values, but with lower relative impact due to their reduced variation. It is inferred from these

results that reproductive performance is the main factor determining economic performance in this type of system.

Keywords: simulation models, beef cattle, economic values.

1. INTRODUCCIÓN

Un modelo de simulación es una abstracción de un sistema o proceso real, una simplificación formal que incluye los elementos esenciales que conforman un sistema (Noordhuizen *et al.* 1997). Los modelos de simulación pueden clasificarse como determinísticos o estocásticos. En modelos determinísticos los parámetros involucrados toman solamente un número limitado de valores fijos. En modelos estocásticos, también conocidos como modelos de simulación Monte Carlo, se puede representar la posible variación aleatoria que ocurre en la presentación de un evento. Mediante esta técnica es posible definir un rango de valores esperados para variables inciertas, en vez de utilizar solo valores promedio. La definición de los rangos de variación para una variable aleatoria se hace mediante el uso de distribuciones de probabilidad (Sapag y Sapag 1990).

En el área de la producción animal, los modelos de simulación han sido utilizados con diversos objetivos. Algunos modelos se han creado para representar procesos biológicos específicos, por ejemplo curvas de crecimiento (Solano y Vargas 1997, Pereda *et al.* 2005) o curvas de lactancia (Vargas *et al.* 1999). Otros modelos analizan de manera conjunta varios de estos procesos con el fin de estudiar sus interacciones y evaluar el impacto agregado sobre el sistema de producción. Las principales características de este tipo de modelos integrados han sido descritas por varios autores (Konandreas y Anderson 1982, Quiroz *et al.* 1994, León Velarde y Quiroz, 2001). En producción animal, el enfoque de modelos integrados ha sido utilizado por ejemplo, en modelos para optimización de políticas de reemplazo (Van Arendonk, 1986, Vargas *et al.*, 2001), modelos para determinación de valores económicos de rasgos de producción (Koots y Gibson, 1998; Vargas *et al.* 2002; Forabosco *et al.* 2005, Rewe *et al.* 2006) o modelos para evaluación de alternativas de mejoramiento genético (Vargas y Van Arendonk 2004). En sistemas de producción de ganado de carne, se han creado modelos para evaluar el impacto del manejo y el rendimiento reproductivo sobre el beneficio neto de la empresa (Werth *et al.* 1991, Tess y Kolstad 2000a,b; Julien y Tess 2002).

En general, estos modelos pueden proveer información valiosa para ser utilizada en la toma de decisiones a nivel de finca, ya que permiten estimar el impacto y la importancia relativa de la variación en parámetros económicos y biológicos sobre la productividad de la empresa ganadera en su totalidad. Por otro lado, dentro de estos modelos es posible considerar variables estocásticas. En la simulación de procesos de producción animal, la consideración de la estocasticidad es importante, pues existen un gran número de factores no controlables que afectan el rendimiento de los animales, tales como: efectos climáticos, plagas, enfermedades, condiciones de mercado, políticas del gobierno, etc (Ugalde 2002). Rara vez se posee

información completa y exacta que respalde todas las decisiones por lo que hay que valerse de cálculos estimados y del mejor juicio, como sustituto de los hechos que se desconocen (Ugalde 2002).

La variabilidad inherente de los procesos de producción implica que las predicciones obtenidas usando un modelo estocástico en el marco de un conjunto específico de condiciones no son siempre las mismas, ya que las variables aleatorias dentro del modelo pueden tomar diferentes valores cada vez que se resuelve el modelo. Si para lograr los resultados esperados necesitamos representar la variabilidad, ya sea la variabilidad asociada a las estimaciones de los parámetros del sistema o aquella inherente al sistema, debemos usar un modelo estocástico (Grant *et al.* 2001).

Cuando se construyen modelos bioeconómicos para análisis de situaciones de la vida real es común que se consideren una gran cantidad de variables en algunos casos, es común encontrarse con situaciones en las cuales el valor del atributo no se conoce con certeza, es decir existe incertidumbre en cuanto al verdadero valor del atributo para la alternativa propuesta. La incertidumbre puede deberse tanto a falta de conocimiento sobre la alternativa propuesta como también al hecho de que algunos procesos, sobre todo biológicos, suelen variar considerablemente dependiendo de una serie de circunstancias exógenas (Sapag y Sapag 1990).

1.1 OBJETIVO

El objetivo del presente estudio fue construir un modelo de simulación estocástico para evaluar la eficiencia bioeconómica de un sistema de producción de ganado de carne en el trópico húmedo de Costa Rica.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Enfoque General

Se construyó un modelo de simulación estocástico representativo de las características del hato de carne (cría y engorde) de la finca perteneciente al Instituto Tecnológico de Costa Rica, ubicada en San Carlos, provincia de Alajuela, a una altura de 172 metros sobre el nivel del mar. Este hato está formado principalmente de cruces entre razas Brahman con las razas Simmental o Charolais. La finca presenta un tipo de clima tropical húmedo, con una precipitación anual de 3062mm, una temperatura promedio de 27.3°C y una humedad relativa de 85.3%.

El modelo se construyó utilizando la hoja electrónica Excel Versión 2003 (Microsoft Corporation, 2003) en combinación con el programa especializado para simulación estocástica @RISK Versión 4.1 (Palisade Corporation, 2002).

El modelo fue construido para simular un sistema de producción de cría y engorde en estado de equilibrio. El tamaño del hato de cría se asumió fijo en 280 cabezas, con producción de reemplazos dentro de la misma finca. Las hembras de reemplazo son criadas hasta el destete, momento en el cual se realiza un primer descarte de las hembras que no serán utilizadas para reemplazo. Posteriormente pasan a la etapa de desarrollo hasta alcanzar el peso de empadre e ingresar al hato de cría. Los machos son todos criados y engordados hasta alcanzar un peso de mercado.

El modelo se construyó con el fin de estimar la productividad bioeconómica de un hato de carne durante un periodo de un año calendario. El modelo consideró distintas *variables de entrada* especificadas con base en el rendimiento productivo y reproductivo actual observado en el hato. Estas variables de rendimiento se combinaron con parámetros de tipo económico para obtener *parámetros de salida* relacionados con estimados de productividad bioeconómica a nivel de empresa, expresados en términos de un año calendario. Se estimó la productividad de la empresa en términos de año calendario en vez de ciclo productivo con el fin de evaluar de manera más precisa el efecto de variaciones en rendimiento reproductivo sobre el flujo (biológico y económico) de la finca.

El flujograma de la figura 1 presenta los principales componentes del modelo y los parámetros más importantes considerados dentro de cada componente. El modelo representa un hato de cría de tamaño constante con parámetros de eficiencia reproductiva correspondientes a la realidad actual de la finca. Estos parámetros se expresan mediante simulación estocástica utilizando distribuciones de probabilidad, con el fin de considerar no solamente la *situación base* (promedios observados), sino también la dispersión presente en la finca (Anexo 1). Estos parámetros definen el flujo de animales en cada una de las etapas de crecimiento, en las cuales

además intervienen otros parámetros de rendimiento, también representados mediante distribuciones estocásticas. La acción combinada de los distintos parámetros de eficiencia en las diferentes etapas define el nivel de eficiencia bioeconómico de la finca.

Los resultados del modelo se reportan para un animal promedio y para el hato completo. Además es posible cuantificar la variabilidad esperada en cada uno de los parámetros de salida y determinar la importancia relativa de los distintos parámetros de entrada.

Las variables consideradas en el modelo y su forma de cálculo se detallan a continuación.

2.2 Variables de entrada del modelo

Se calcularon una serie de indicadores (Cuadro 1) para definir la situación base del modelo, obtenidos de los promedios reales observados en la finca para todos los parámetros de eficiencia considerados en el modelo. Estos indicadores se calcularon utilizando información real de los registros de producción de la finca (p.e, parámetros de rendimiento) y las condiciones imperantes en la zona (p.e, parámetros económicos). Los indicadores utilizados para describir esta situación base se relacionaron principalmente con aspectos de reproducción y mortalidad, crecimiento e información sobre costos de producción.

El rendimiento reproductivo de la finca estuvo definido principalmente por los indicadores de tasa de preñez y longitud del periodo abierto. Se consideraron además indicadores de tasas de mortalidad (pre-natal, pre-destete y descarte involuntario en adultos). Para el descarte de las vacas se asumió una distribución uniforme del descarte en vacas desde 3 hasta un máximo de 7 partos. Los parámetros anteriores determinan mayormente las tasas de flujo de animales en cada una de las distintas etapas de crecimiento (predestete, desarrollo, engorde, hato de madres).

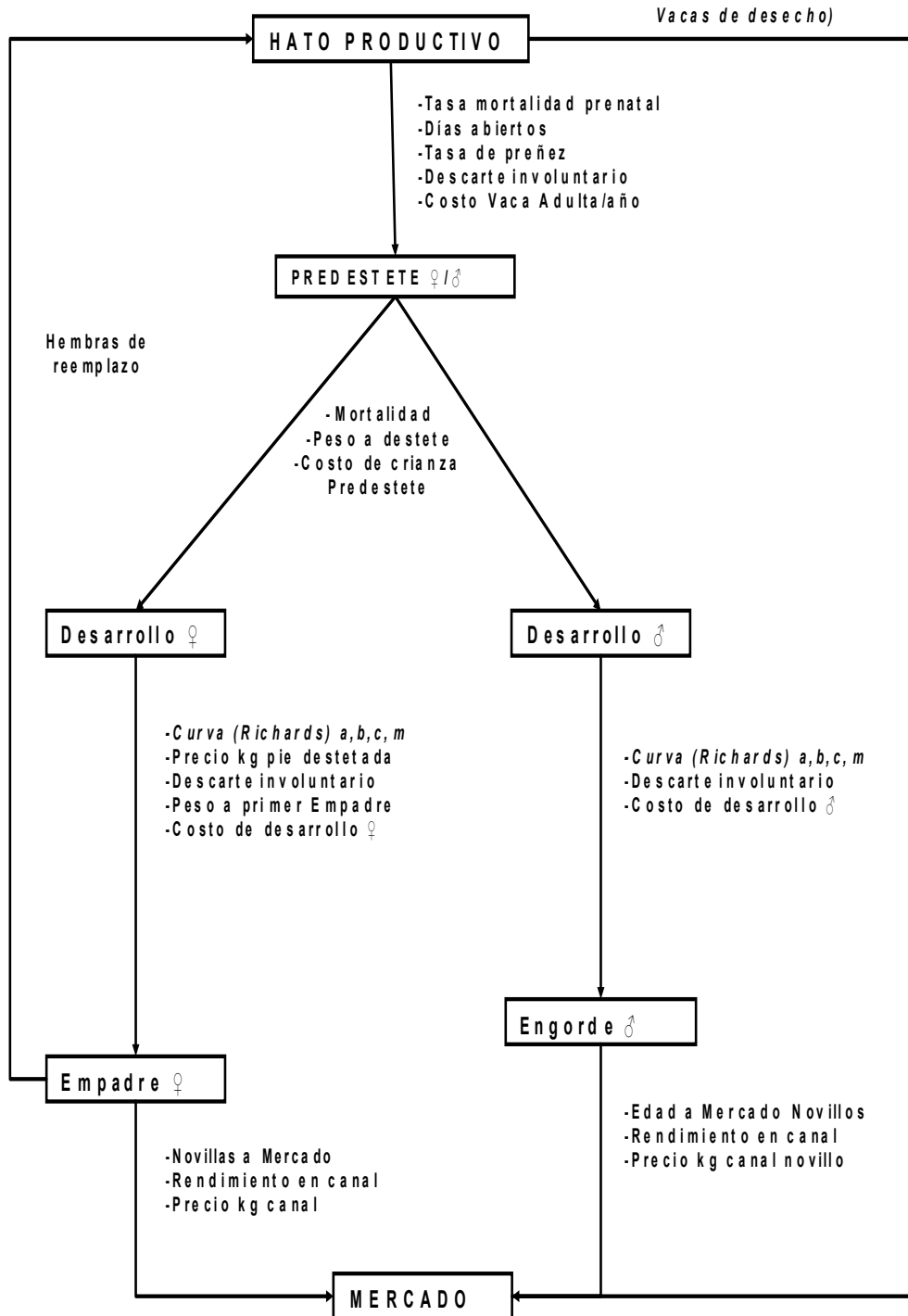


Figura 1. Flujograma con los principales componentes y parámetros considerados en el modelo estocástico de simulación de la finca bajo estudio

Cuadro 1. Parámetros de entrada, códigos y valores de base (\pm D.E) asumidos en el modelo estocástico de simulación de la finca en estudio

Parámetros de Entrada	Código	Valor base	(D.E)	Unidades
Tipo de cambio		503		C/USD
Número de Hembras adultas	HA	280		n
Tasa de Preñez	TP	84.7	5	%
Tasa de Mortalidad Prenatal	TMPre	2.9	0.5	%
Descarte involuntario en adultos	DIA	2.00	0.5	%
Longitud Preñez	LP	270		d
Periodo Abierto	PA	124	15	d
Tasa de Mortalidad pre-destete	TMPreDe	7.1	1	%
Partos a Descarte	PD	5	(3.4.5.6.7)	n
Hembras				
Hembras (Richards) a=	HRa	536.6		
Hembras (Richards) b=	HRb	0.996		
Hembras (Richards) c=	HRc	0.000731	0.0000731	
Hembras (Richards) m=	HRm	0.540		
Peso destete hembras	WDH	200		kg
Precio kg pie hembra destetada	P	0.825		USD/kg
Descarte involuntario H Destete-Parto	DIDaP	4	0.50	%
Margen seguridad destete a novillas	MSDN	10		%
Peso a primer Empadre	WPE	320	10	kg
Rendimiento en canal novillas desecho	RCNd	54.2	1.0	%
Precio kg canal novillas	\$CNxkg	2.187	0.05	USD/kg
Machos				
Machos (Richards) a=	MRa	767.6		
Machos (Richards) b=	MRb	0.9762		
Machos (Richards) c=	MRc	0.00124	0.000124	
Machos (Richards) m=	MRm	0.869		
Peso destete machos	WDM	220	15	kg
Peso a Mercado de novillos	PMn	450	20	kg
Descarte involuntario M Destete-Mercado	DIDaM	2.0	0.2	%
Rendimiento en canal novillos engorde	RCn	60.2	1.0	%
Precio kg canal novillo	\$Cnxkg	2.6	0.05	\$/kg
Vacas adultas				
Peso promedio vaca desecho	PPVD	450	15	
Rendimiento en canal vacas desecho	RCVD	52.8	1.0	%
Precio kg canal vaca desecho	\$CVDxkg	2.0	0.05	USD/kg
Costos				
Costo Base Nacim-Destete	\$CBNaD	20.4	2.04	USD /un/año
Costo Base desarrollo H/M	\$CBD	63.6	6.36	USD /un/año
Costo Base engorde M	\$CBEM	68.5	6.85	USD /un/año
Costo Base x año x vaca adulta	\$CBAVA	183.8	18.3	USD /un/año
Costo por administración	\$CAD	12000		USD /año

El modelo consideró algunos parámetros como fijos, tales como el tamaño del hato de cría (280 vacas), el peso a destete (200 kg hembras, 220 kg machos), la duración de la preñez (270 d) y los parámetros a , b y m de la curva de crecimiento.

Para representar el crecimiento de los animales dentro de la finca se utilizó la función propuesta por Richards (Richards 1959), la cual ha sido utilizada en varios estudios para describir el crecimiento de bovinos de carne (Naazie *et al.* 1999, Pereda *et al.* 2005). Esta función consta de 4 parámetros que definen la forma sigmoidea de la curva de crecimiento de un bovino. El parámetro a es una estimación del peso adulto; el parámetro b es una constante de integración; el parámetro c está relacionado con la pendiente de la curva y por tanto con la tasa de crecimiento o índice de madurez; y el parámetro m define el punto de inflexión de la curva. En el modelo, los valores de base para los parámetros a , b , c y m de hembras y machos (Cuadro 1, Figura 2) fueron obtenidos mediante procedimientos de regresión no lineal aplicados a promedios de peso históricos observados en el sistema de producción bajo estudio, utilizando el procedimiento NLIN del programa SAS (SAS, 1990). Los valores obtenidos para los parámetros a , b , c y m en hembras fueron de 536.6, 0.9957, 0.000731 y 0.5396. Los valores correspondientes en machos fueron de 767.6, 0.9762, 0.00107 y 0.8686.

Otros parámetros biológicos adicionales incluidos en el modelo fueron las tasas de rendimiento en canal para machos a mercado y hembras de desecho, cuyos valores base fueron especificados con base en reportes obtenidos de mataderos locales.

En relación a los indicadores de tipo económico, se obtuvieron estimados del costo de mantenimiento por unidad animal por año calendario para cada una de las etapas consideradas en el modelo: predestete, desarrollo, engorde o vaca adulta (Anexos 2 y 3). En el cálculo de estos costos de mantenimiento se consideró información relacionada con: mano de obra, alimentación, uso de insumos animales (medicamentos) o materiales de finca (fertilizantes, combustibles, etc). Los precios de distintos insumos se especificaron de acuerdo a las condiciones de producción locales y los costos se expresaron en USD de acuerdo con el tipo de cambio oficial. Además de un costo base, el modelo considera también una desviación estándar equivalente al 10% de los promedios observados con el fin de representar la posible inestabilidad e incertidumbre en precios de insumos. De la misma manera se consideró la posible variación en los precios de la carne (Cuadro 3). Adicionalmente se consideró un costo fijo único adicional por administración de la finca.

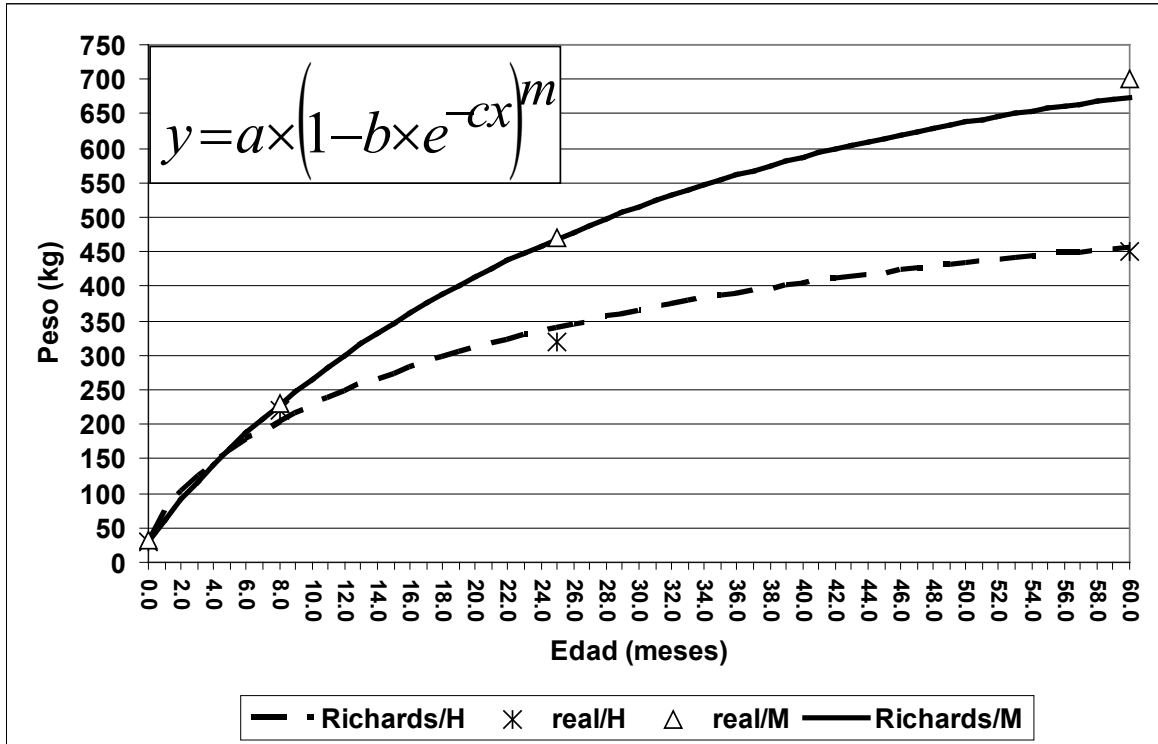


Figura 2. Curvas de crecimiento según función de Richards para hembras y machos en la finca de estudio

2.3 Variables de salida del modelo.

La combinación de los parámetros de entrada descritos anteriormente (reproducción y crecimiento), y los parámetros económicos permitió obtener diversos parámetros de salida del modelo relacionados con la eficiencia biológica y económica de la finca (Cuadro 2).

Entre los estimados de eficiencia biológica calculados por el modelo se obtuvieron: la edad promedio al empadre y al primer parto (en hembras), la edad promedio a mercado (en machos), las ganancias de peso promedio (hembras a empadre y machos a mercado), la longitud de vida productiva y vida útil (en hembras), tasa de reemplazo, crías nacidas (por año), terneros destetados (número y kg, por año y por vaca expuesta a toro), tasa de destete, novillos y novillas a mercado (número y kg por año), animales de desecho (número y kg por año). Debido a que la longitud de un ciclo productivo depende de la eficiencia reproductiva del hato, se optó expresar la productividad en términos de 1 año calendario.

Cuadro 2. Parámetros de salida del modelo de simulación y fórmulas de cálculo

Parámetros de salida	Unidad	Símbolo	Fórmula de cálculo ^a
Edad a Empadre	Años	EPE	$(LN((((WPE/HRa)^{(1/HRm)}-1)/(-HRb))/(-HRc))/365$
Ganancia de Peso Hembras/empadre	kg/d	GPN-E	$WPE/(EPE*365)$
Edad a Primer parto	Años	EPP	$((WPE/GPN-E)+LP)/365$
Vida Productiva	Años	VP	$VU-EPP$
Vida útil	Años	VU	$EPP+PD*((LP+PA)/365)$
Número de Crías Nacidas	n/año	nCN	$(HA*TP/100-(TMpre/100*HA)-(DIA/100*HA))/(PA+LP)*365$
Terneros (as) destetados	n/año	TD	$nCN-(TMPreDe /100*nCN)$
Tasa de destete	%	Tdt	$(TD/HA)*100$
kgs terneros x vaca expuesta	kg/año	kgtVE	$(tdt/100)*((WDH+WDM)/2)$
kgs terneros destete total	kg/año	kgTT	$(tdt)*((WDM+WDH)/2)$
kgs ternera destete a venta	kg/año	kgTDV	$kgTT/2-(HR1erP*(1+DIDaP/100+MSDN/100))*WDH$
Novillos a Mercado	n/año	NosM	$(TD/2)*(1-DIDaM/100)$
kgs novillos a venta	kg/año	kgNV	$NosM*PMn$
Novillas a Mercado	n/año	NasM	$HR1erP*MSDN/100$
kgs novillas a venta	kg/año	kgNasV	$NasM*WPE$
kgs Vacas a Desecho	kg/año	kgVD	$HA*tR/100*PPVD*RCVD/100$
Tasa de reemplazo	%	tR	$100/VU$
Hembras requeridas a 1er parto	n/año	HR1erP	$HA*tR/100$
Ganancia Peso Machos/Mercado	kg/d	GPNaM	$PMn/(EMn*365)$
Edad a Mercado Novillos	años	EMn	$(LN((((PMn/MRa)^{(1/MRm)}-1)/(-MRb))/(-MRc))/365$
Ingreso x venta carne	\$/año	lvC	$(kgNV*RCn/100*$Cnxkg+ kgNasV* CNd/100*$CNxkg)+(kgTDV *P)+(kgVD*RCVD/100*$CVDxkg)$
Costos	\$/año	C	$(nCN*CBNaD)+(HR1erP*$CBD*(EPP-0,666))+ (HA*$CBAVA)+(TD/2*$CBEM*(EMn-0,666))+ (TD/2*$CS*$CS*(EMn-0,666)*365)$
Utilidad	\$/año	U	$lvC-C$

^a Códigos de variables de entrada según Cuadro 1. Operadores matemáticos (*,^) se especifican de acuerdo al formato utilizado por la hoja electrónica de Excel

En el modelo, la edad a empadre y edad al parto están en función principalmente de la ganancia de peso, la cual a su vez está definida por la pendiente (parámetro c) de la curva de crecimiento.

El número esperado de animales en cada etapa depende principalmente de los parámetros reproductivos, las tasas de mortalidad y las tasas de descarte involuntario. La producción esperada de carne también depende de estos parámetros, así como de las curvas de crecimiento y las tasas de rendimiento en canal.

La tasa de reemplazo es producto de la longitud de la vida útil, la cual está en función del número de partos a descarte (fijo), la edad a primer parto y la longitud del ciclo reproductivo (preñez (fijo) + días abiertos).

Combinando los parámetros de eficiencia biológica y económica se obtuvieron estimados de eficiencia económica de la finca. Los parámetros económicos considerados fueron: ingreso total (por venta de carne), costo total (por mantenimiento de animales y administración) y margen de utilidad, expresados en términos de USD por año/finca. No se consideraron en este modelo ingresos o costos no relacionados con la actividad de venta de carne.

2.4 Análisis de sensibilidad y cálculo de valores económicos

El modelo anterior se utilizó inicialmente para obtener los parámetros de salida resultantes en el sistema de producción para la situación base, o sea, bajo condiciones de eficiencia promedio actual.

Adicionalmente, la inclusión de variación estocástica dentro del modelo permitió realizar análisis de sensibilidad, con el fin de evaluar las tasas de cambio en distintas variables de salida (biológicas) por cada unidad de cambio en las variables de entrada del modelo.

En este análisis se consideraron principalmente 2 variables de salida, los kilogramos de ternero destetado por vaca expuesta a toro (KgteVE) y la Utilidad. La variable KgteVE ha sido utilizada en estudios similares (Davis *et al.* 1994, Julien y Tess 2002), ya que mide tanto la eficiencia reproductiva de las madres, como el nivel de mortalidad y la eficiencia en crecimiento de las crías.

Para la consideración de estocasticidad se utilizaron principalmente distribuciones normales de probabilidad (Anexo 1) cuyas desviaciones estándares se obtuvieron en base a la variación real observada en la finca.

La posible variación en las curvas de crecimiento se consideró mediante la adición de un parámetro de desviación (10%) en el parámetro c (índice de madurez) de la función de Richards. Un aumento en este parámetro implica una reducción en la edad en que se logra el peso adulto, sin alterar dicho peso. La desviación asumida se especificó de manera que las ganancias de peso obtenidas fueran acordes a la variación observada en el sistema de producción.

En la simulación estocástica se utilizó la metodología de muestreo de Hipercubo Latino (Palisade Corporation 2002) y se corrieron un total de 5000 iteraciones del modelo.

Para lograr una simulación aún más acorde a la realidad, se asumieron correlaciones entre algunas de las distribuciones. Por ejemplo, se asumió una correlación de 0.75 en la simulación de las tasas de mortalidad y el descarte involuntario entre las distintas etapas, considerando

que generalmente existe relación estrecha entre parámetros de eficiencia sanitaria en distintas etapas dentro de un mismo sistema de producción.

Asimismo, se asumió en el modelo una correlación de 0.90 entre los costos de mantenimiento estimados para las distintas etapas, considerando que generalmente en la realidad existe relación estrecha entre precios, tanto de insumos y productos.

Mediante la inclusión de variación estocástica fue posible obtener estimados del valor económico de distintos rasgos de eficiencia biológica. El valor económico se define como el cambio en la utilidad neta (USD año⁻¹) por cada unidad de incremento en una variable de entrada, p.e un incremento de 1% en tasa de preñez (Vargas *et al.* 2002). Este valor económico puede expresarse por unidad animal o a nivel de unidad de producción. En este estudio se calcularon los valores económicos para las variables: tasa de preñez, días abiertos, ganancia de peso en hembras y machos, tasa de mortalidad predestete, descarte involuntario de adultos, edad a empadre en hembras, número de partos a descarte y peso a mercado en machos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Situación Base

El Cuadro 3 muestra los valores obtenidos para los parámetros de salida del modelo. Se presentan los parámetros de eficiencia biológica y económica, junto con el rango de variación esperado en función de las distribuciones asumidas para las variables de entrada.

Para la situación base, es decir, asumiendo valores promedio para todas las variables de entrada del modelo, se obtiene una producción esperada de 207.4±14.8 crías por año y 192.7±14.2 terneros destetados, para una tasa de destete del 68.8±5.1%. La producción esperada de Kg de ternero destetado por vaca expuesta a toro es de 144.5 ±10.6 Kg/año. Davis *et al.* (1994) reportaron estimados similares, en el rango de 152 a 165 kg de ternero destetado por ciclo de producción por vaca expuesta en cruces de SimmentalxHereford. Asimismo, la tasa destete reportada en dicho estudio (68.2%) fue también similar al 68.6% determinado en nuestro estudio. Por el contrario, Julien y Tess (2002) reportaron un estimado de 204 kg, producto principalmente de una tasa de preñez del 96%.

El modelo estima una salida anual promedio de 94.4±6.9 novillos a mercado con una edad de 1.96±0.25 años para una ganancia de peso (nacimiento a mercado) de 0.639±0.07 kg/d y una producción total esperada de 42477.2±3620 kg de carne de novillo (en pie). Cabe señalar que la edad de mercado predicha por el modelo es muy similar al promedio real observado en la finca, lo que confirma la eficiencia en el ajuste de la curva de crecimiento. Por otro lado, el peso

maduro predicho por el modelo de Richards para los machos (767.6 kg) es probablemente un poco alto considerando las características raciales de los animales de la finca. Esto se debe a que para este estudio se contó con pocos datos reales de peso maduro para los machos, por lo que la estimación en este sector de la curva probablemente no es del todo eficiente. Sin embargo, para el periodo de vida entre el nacimiento y la salida a mercado sí se logró un ajuste satisfactorio en comparación con los promedios observados en la finca.

Cuadro 3 Parámetros de salida resultantes de la simulación estocástica

Parámetro	Unidad	Promedio	D.E	Mínimo	Máximo
Edad a Empadre	años	1.82	0.23	1.1	3.0
Ganancias Peso H. Nacim/empadre	kg/d	0.488	0.05	0.303	0.711
Edad a Primer parto	años	2.56	0.23	1.8	3.7
Vida Productiva	años	5.4	1.54	2.9	8.4
Vida útil	años	8.0	1.55	5.1	11.3
Número de Crías Nacidas	n/año	207.4	14.79	156.3	259.6
Terneros (as) destetados	n/año	192.7	14.17	144.6	245.0
Tasa de destete	%	68.8	5.06	51.7	87.5
Kg ternero destetado/vaca expuesta	kg/año	144.5	10.62	108.5	183.8
Kg ternero destete- total	kg/año	40457.5	2975	30374.6	51458.4
Kg ternera destete a venta	kg/año	11878.6	2200	5001.2	18218.2
Novillos a Mercado	n/año	94.4	6.9	70.9	120.1
kgs novillos a venta	kg/año	42477.2	3620	30956.9	57248.7
Novillas a Mercado	n/año	3.7	0.7	2.5	5.5
kgs novillas a venta	kg/año	1171.4	238	788.8	1748.6
kgs Vacas a Desecho	kg/año	8699.9	1794	5469.1	13580.6
Tasa de reemplazo	%	13.1	2.66	8.9	19.7
Hembras requeridas a 1er parto	n/año	36.6	7.45	24.8	55.1
Ganancia Peso M Nacim/Mercado	kg/d	0.639	0.07	0.402	0.865
Edad a Mercado Novillos	años	1.96	0.25	1.28	3.21
Ingreso x venta carne	USD/año	85652.9	6985	64222.4	111469.5
Costos	USD/año	80209.2	6180	58285.1	102388.9
Utilidad	USD/año	5443.7	8504	-24540.7	35976.1

En cuanto a las hembras, el modelo estima una edad a empadre promedio de 1.82 ± 0.23 años, la cual está en función de la velocidad de crecimiento y del peso a empadre (320 kg). Esta edad de empadre también concuerda con el promedio real que se reporta en dicha finca. La edad a primer parto esperada es por consiguiente de 2.56 ± 0.23 años.

Otro parámetro de interés estimado por el modelo es la tasa de reemplazo. Para la situación base el modelo estima que la tasa de reemplazo esperada en este sistema de producción es de $13.1 \pm 2.7\%$. En el modelo la tasa de reemplazo se calcula con base en la vida útil (Cuadro 2), la cual a su vez depende tanto del número de partos y del rendimiento reproductivo (edad a primer parto y periodo abierto). De esta manera una reducción en la edad a primer parto o en la

longitud del periodo abierto aumenta la vida útil y causa una reducción en las tasas de reemplazo. La tasa de reemplazo a su vez define el número de hembras de reemplazo necesarias para mantener el tamaño constante de 280 vacas de cría. En la situación base el modelo estima que se requieren un total de 36.6 ± 7.45 hembras de reemplazo. Las hembras en exceso se asumen vendidas en su mayoría a edad de destete, según la práctica común de la finca, aunque algunas (10%) son retenidas para ser seleccionadas hasta la edad de empadre. En general el rendimiento productivo/reproductivo de esta finca es representativo de sistemas de producción de carne del trópico húmedo basados en pastoreo. En estos sistemas las tasas de preñez son por lo general menores al 80%, lo que a su vez implica tasas de destete inferiores al 70%. Por el contrario, sistemas más intensivos en climas templados reportan tasas de preñez hasta del 95% (Julien y Tess 2002), lo que permite tasas de reemplazo mucho más altas, de hasta un 20%.

Es importante notar que en el presente estudio el número de crías nacidas se expresa por *año calendario*, ya que está en función tanto de la tasa de preñez como del periodo abierto. La tasa de preñez define el flujo de animales por cada *ciclo productivo*, y este resultado se ajusta por la longitud del intervalo entre partos para obtener un estimado del flujo de animales por *año calendario*. En la situación base la longitud esperada del ciclo productivo es de 394 d, por lo tanto para obtener el flujo de animales por año calendario, debe multiplicarse el estimado obtenido por cada ciclo productivo por un factor de 0.92 ($365/394$).

En cuanto a los parámetros económicos podemos observar que el modelo estima un ingreso promedio anual por venta de carne de 85652.9 ± 6985 USD y una utilidad neta anual de 5443.7 ± 8504 USD. De los ingresos por venta de carne aproximadamente el 76.4% corresponde a venta de novillos de engorde, el 13.3% a terneras de destete (y novillas en exceso) y el 10.3% a venta de vacas de desecho. Dentro de los costos el 69.4% corresponden al mantenimiento del hato de cría, el 15.6% a desarrollo y engorde y el 15.0% restante a costos de administración. Algunos de estos costos no son tangibles para la unidad de producción bajo estudio (p.e administración, alquiler por ha de pastoreo), sin embargo fueron considerados con el fin de obtener un estimado más preciso de las utilidades netas de un sistema de este tipo.

Aunque el modelo no pudo ser validado de manera rigurosa los principales parámetros de salida calculados por el modelo (p.e, edades a empadre, edades a mercado, número de novillos a mercado, kgs de novillo a mercado, tasas de reemplazo, ingresos económicos) se ajustaron de manera bastante eficiente a valores los reales observados en la finca en años recientes. Debe señalarse sin embargo que el sistema real no es completamente estático en cuanto a tamaño del hato, además de que existen variables de manejo adicionales que son difíciles de considerar en el modelo, o que no fueron de interés para la presente investigación, tales como

reducción o aumento de áreas disponibles de pastoreo, así como ingresos o salidas no planificadas de animales. Este tipo de factores hacen difícil una validación rigurosa del modelo construido en este estudio.

3.2 Variación y análisis de sensibilidad

Como se puede observar en el Cuadro 3 el rango de variación esperado en los parámetros tanto biológicos como económicos es bastante amplio. Por ejemplo, el número de crías podría variar entre un mínimo de 156 y un máximo de 260, en función del grado de eficiencia logrado en las variables de entrada que definen este parámetro, las cuales son la tasa de preñez, el periodo abierto y las tasas de mortalidad (prenatal y adultos). Del mismo modo los demás parámetros de salida muestran variación considerable según sea el efecto combinado de la variación estocástica asumida en cada uno de los parámetros de entrada.

Es importante resaltar que estos rangos de variación denotan la variabilidad real que puede ser esperada en los índices de eficiencia (biológicos y económicos) de un sistema de producción. De esta manera, el modelo permite explorar cuáles serían los beneficios esperados por incrementos en el nivel de eficiencia. Asimismo, de acuerdo con la estrategia de simulación empleada es posible medir cuáles de los parámetros de entrada tienen un mayor impacto sobre cada una de las variables de salida. Esto se realiza mediante la estimación de correlaciones entre parámetros de entrada y parámetros de salida de interés. El resultado de este análisis se presenta para las variables de salida *kg de ternero destetado por vaca expuesta (kgteVE, Figura 3)* y *utilidad neta anual (Figura 4)*.

La variable kgteVE presentó un rango de variación de 75.3 kg (108.5-183.8) mientras que para la utilidad fue de 60516.8 USD (-24540.0 hasta +35976.1).

En la figura 1 se observa que la única variable de entrada que presentó una correlación positiva estadísticamente significativa con kgteVE fue la tasa de preñez, con un valor de 0.80. Es evidente que esta correlación positiva se debe a que la tasa reproductiva ejerce un efecto directo sobre la disponibilidad y flujo de animales en el sistema. Por el contrario, varias variables presentaron correlaciones negativas significativas, entre las cuales la más importante fue el periodo abierto (-0.52), seguida por la tasa de mortalidad predestete (-0.15), el descarte involuntario en adultos (-0.09) y la mortalidad prenatal (-0.08). Debido a que KgteVE está expresado por año calendario, es evidente que periodos abiertos más largos redundan en menor producción anual de terneros. De la misma manera, los aumentos en mortalidad afectan negativamente la disponibilidad de animales de sacrificio en distintas etapas de crecimiento.

Es importante observar que de acuerdo con el modelo la velocidad de crecimiento, determinada por la magnitud del parámetro c en la curva Richards, no presenta una correlación significativa

con kgteVE. Esto se debe a que un incremento en la ganancia de peso reduce la edad a mercado pero no altera la producción anual de carne. Es así que en el sistema de producción que se estudia, la reducción de la edad a mercado no tendría efecto alguno sobre el volumen *anual* de producción de carne, ya que el flujo de animales está determinado solo por los parámetros reproductivos (preñez y días abiertos). Sin embargo, esta reducción en la edad a mercado sí ejercería un efecto positivo sobre la utilidad neta anual, como se discutirá posteriormente. En algunos sistemas intensivos sería posible aprovechar las ventajas de una reducción en la edad a mercado si se ingresaran nuevos animales desde fuera del sistema (p.e a través de compra de machos destetados). En el sistema bajo estudio esta práctica no es común, por lo cual no se consideró como opción dentro del modelo.

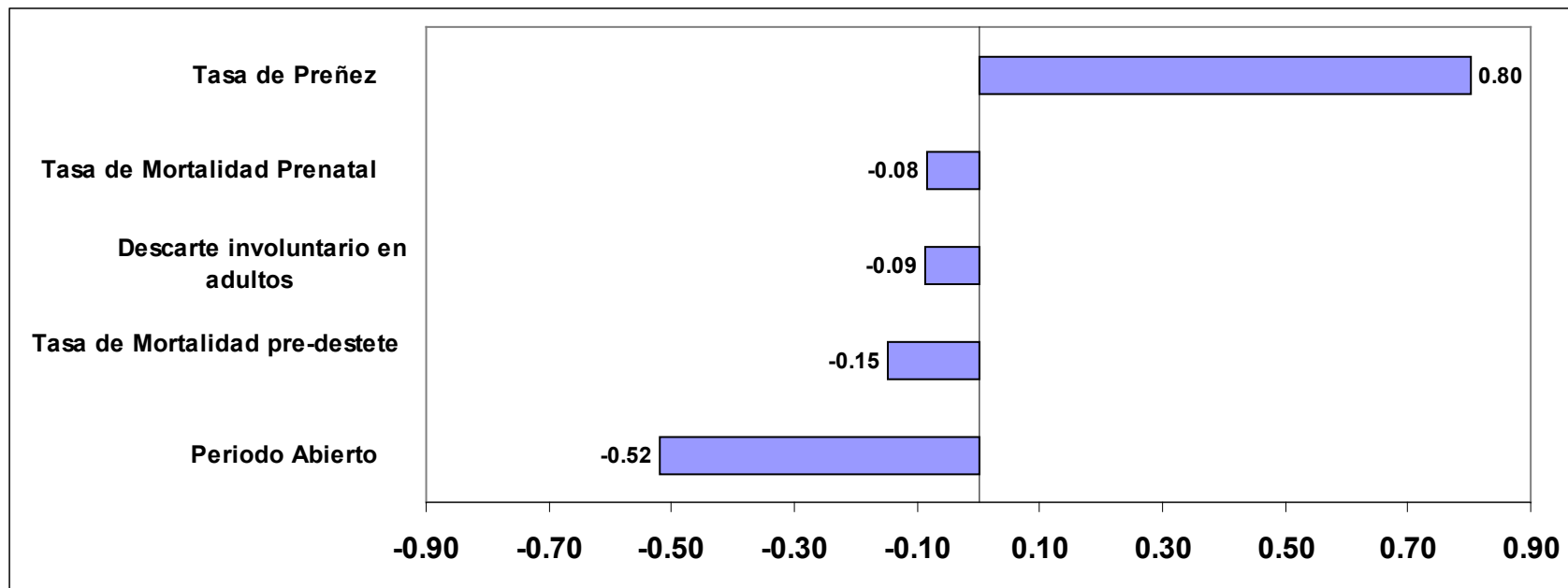


Figura 3. Estimados de correlación entre parámetros de eficiencia biológica y variable de salida kgs de ternero destetado por vaca expuesta a toro

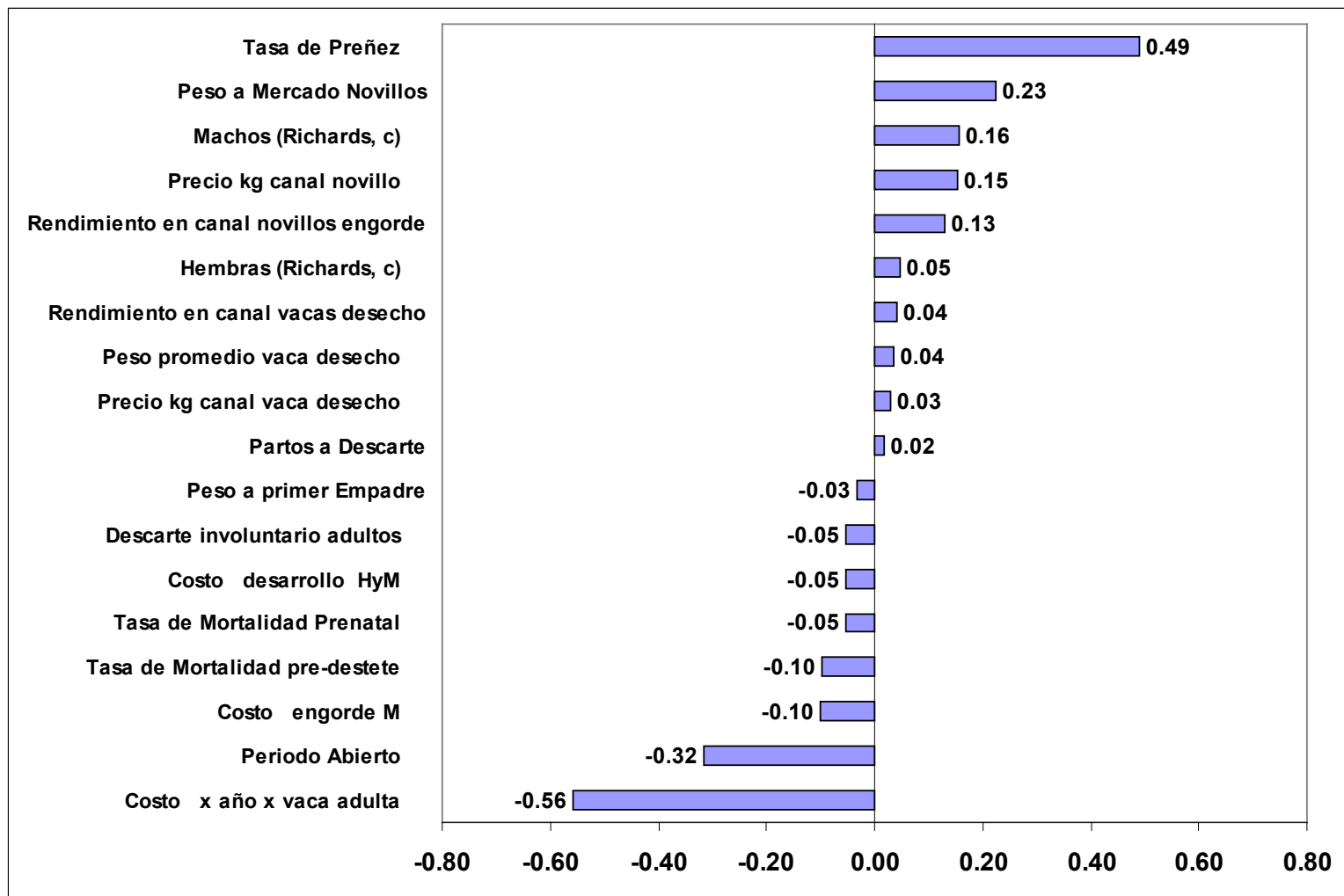


Figura 4. Estimados de correlación entre parámetros de eficiencia biológica y variable de salida utilidad neta anual

En la figura 4 se observa el resultado del análisis de correlaciones para la variable de salida *utilidad neta anual (en USD)*. Como se observa la variable con mayor correlación positiva fue la tasa de preñez (0.49), seguida por el peso a mercado (0.23), el crecimiento en machos (0.16), el precio de la carne de novillo (0.15) y el rendimiento en canal (0.13).

Nuevamente, la mayor relevancia de la tasa de preñez es debida a su gran efecto sobre el flujo de animales en el sistema. Se observa además la gran importancia de los parámetros relacionados con el rendimiento de los machos, debido a que estos representan la mayor parte de los ingresos por venta de carne en este sistema.

Se observa como el precio de la carne en canal de novillo tiene un efecto importante. Esto refleja la importancia relativa de variables exógenas al sistema de producción, las cuales tienen también un efecto determinante sobre las utilidades del sistema. El modelo también permite calcular el *precio de equilibrio*, es decir, el precio límite que produciría una utilidad neta igual a cero. Para la situación base, fijando todos los demás parámetros en su valor promedio, el precio de equilibrio se estima en 2.39 USD, en comparación con el precio base de 2.55 USD. Considerando la inestabilidad del mercado de la carne, esto denota un margen de utilidad neta muy estrecho para este sistema de producción.

Otras variables con correlaciones positivas pero bajas fueron crecimiento en hembras (0.05), rendimiento en canal de vacas de desecho (0.04), el peso de la vaca de desecho (0.04), el precio de carne para vaca de desecho (0.03) y el número de partos a descarte (0.02). Estas variables se relacionan principalmente con parámetros de rendimiento en producción cárnica de las hembras, por lo que su efecto aunque positivo es menor.

Como se aprecia, hay más variables correlacionadas significativamente con la utilidad en comparación con kgtVE, debido a que existen parámetros de rendimiento y parámetros económicos adicionales a considerar (p.e precio de la carne) que también tienen un impacto considerable sobre la utilidad. Es importante señalar que en este caso la velocidad de crecimiento (parámetro c , función Richards) sí tiene una correlación significativa con la utilidad. Esto se debe a que al reducirse la edad a mercado se reduce también la duración de los periodos de desarrollo y engorde, lo cual redundaría en una disminución (pequeña) de los costos anuales por concepto de crianza. Debe señalarse sin embargo que el modelo solo considera la variación en crecimiento que se observa en animales criados bajo condiciones idénticas de pastoreo y suplementación mínima. No se evalúa en el modelo el posible efecto de alternativas nutricionales que implicarían también costos adicionales.

A diferencia de las anteriores, las variables que se correlacionaron negativamente con la utilidad fueron, en orden de importancia, el costo por vaca adulta (-0.56) y el periodo abierto (-0.32), seguidas por el costo del engorde de machos (-0.10), la tasa de mortalidad pre-destete (-0.10) y

con menor importancia la tasa de mortalidad prenatal (-0.05), el costo de la etapa de desarrollo (-0.05), el descarte involuntario de adultos (-0.05) y el peso a primer empadre (-0.03).

Como se observa, el costo de mantenimiento de las hembras adultas (203.1 USD UA/año⁻¹) es el factor de mayor importancia relativa en la determinación de la utilidad, ya que representa un 69.4% de los costos. Aunque el sistema de producción que se analiza es extensivo, el componente principal de este costo lo constituye la mano de obra requerida para el manejo de ganado y áreas de pastoreo (Anexo 2). En el modelo los costos de mantenimiento de potreros se expresan por unidad animal asumiendo una carga animal fija de 2.5 UA/ha.

Nuevamente el efecto negativo de los días abiertos es debido a que la utilidad se expresa en términos anuales por lo que ciclos de producción más largos reducen los rendimientos anuales. De la misma manera, el incremento en mortalidad también afecta la disponibilidad de animales, aunque su efecto es menor.

3.3 Valores Económicos de rasgos productivos

En este estudio se estimaron los valores económicos a nivel de empresa, para los rasgos productivos de mayor impacto (Cuadro 4). Debe señalarse que algunos de los parámetros de esta Cuadro (p.e Ganancia de peso) aparecen como parámetros de salida del modelo (Cuadro 2). Esto se debe a que estos parámetros se obtienen como producto de cálculos intermedios basados en las variables de entrada originales especificadas en el Cuadro 1 (p.e función Richards).

Como se observa, las variables con valores económicos positivos son tasa de preñez, peso a mercado, rendimiento en canal (machos), ganancia de peso (en machos y hembras) y número de partos a descarte.

En el sistema de producción bajo estudio, un incremento de 1% en la tasa de preñez representaría un aumento de aproximadamente 868±21.9 USD en la utilidad neta anual de la unidad de producción.

Cuadro 4. Valores económicos^a para parámetros de eficiencia biológica

Variable	Escala	Valor Económico (ΔUSD) ^a	E.E v.E	R ²
Tasa de Preñez	%	867.8	21.9	0.239
Peso a Mercado	Kg	101.8	5.73	0.059
Rendimiento en Canal Machos	%	1124.8	117.1	0.018
Ganancia de Peso (machos)	g/d	6.70	1.74	0.003
Ganancia de Peso (hembras)	g/d	5.14	2.22	0.001
Partos a descarte	N	110.9	83.5	0.000
Periodo Abierto	Días	-181.2	7.45	0.106
Tasa de mortalidad predeste	%	-1381.4	116.5	0.027
Descarte involuntario adultos	%	-2613.5	233.5	0.024
Edad de Empadre (hembras)	meses	-112.1	42.4	0.002

^a Fluctuación en la *utilidad neta anual* de la empresa (USD/año) por cada unidad de incremento en la variable respectiva

De la misma manera, el valor económico positivo del peso a mercado significaría que mayores pesos a mercado producirían mayores ganancias anuales. Este resultado es de particular interés y se debe a que la edad de mercado no es una limitante en este sistema de producción, ya que el costo de oportunidad asumido por alquiler de una hectárea de pastoreo es relativamente bajo. Cabe señalar sin embargo que el modelo no considera posibles disminuciones en el rendimiento en canal a mayores edades de sacrificio, ni posibles restricciones de área de pastoreo al aumentar la carga animal.

El rendimiento en canal presenta el valor económico positivo más alto (1124±1124.8), pero con un R² bajo. Esto se debe principalmente a que la desviación estándar asumida para este rasgo es relativamente baja (60.4±1.0%). Aunque no se contó con datos locales de variabilidad de rendimiento en canal, estudios previos reportan desviaciones estándares cercanas al 1% (Velásquez y Alvarez 2004), que fue la que se utilizó en el presente estudio.

También se observan valores económicos positivos de 6.7±1.74 y 5.1±2.22 USD por cada aumento de 1g en la ganancia de peso promedio de machos y hembras, respectivamente. En este caso, este valor económico estaría relacionado con la disminución en los costos por reducción en la longitud del periodo de engorde. Sin embargo, el R² respectivo es nuevamente muy bajo, lo que indica que no es un factor determinante en este sistema.

Finalmente, el valor económico positivo para el número de partos parecería favorecer el descarte a edades más avanzadas. En este caso, el efecto positivo se debe a que un mayor número de partos implicaría una mayor vida útil y una reducción en la tasa de reemplazo (ver cálculo de tasa de reemplazo en Cuadro 2). Menores tasas de reemplazo implican menor requerimiento de novillas de reemplazo y por consiguiente una mayor disponibilidad de hembras

en exceso para venta. El efecto sin embargo es pequeño, lo que se denota en el bajo R^2 . Debe señalarse además que el modelo no considera posibles disminuciones en rendimiento reproductivo de hembras con mayor número de partos, lo que podría tener un impacto importante en el sentido y magnitud del valor económico estimado para este rasgo.

En contraposición a los resultados anteriores, las variables de periodo abierto, tasa de mortalidad predestete, tasa de descarte involuntario en adultos y edad de empadre presentaron valores económicos negativos. Un incremento de 1 día en el promedio de días abiertos representaría una disminución aproximada de 181.2 ± 7.45 USD en las utilidades anuales, presentando esta variable un R^2 de 10.6%. Asimismo, se estima que incrementos de 1% en la mortalidad predestete o en el descarte involuntario de adultos representarían disminuciones considerables de hasta 1381.4 ± 116.5 y 2613.5 ± 133.5 USD en las utilidades, respectivamente. Sin embargo, estas 2 variables presentan R^2 menores al 3%. En los tres casos, estas variables se relacionan claramente con la disponibilidad de animales para mercado.

Asimismo, el modelo estima también una disminución de 112.1 ± 42.4 USD por cada aumento de 1 mes en la edad a empadre de las hembras. Esta relación negativa se debe básicamente al incremento en costos asociado con la crianza de reemplazos, sin embargo el error estándar para este estimado es alto y el R^2 muy bajo por lo que el impacto de esta variable sobre la utilidad es menor bajo las circunstancias analizadas.

Pocos estudios han reportado cálculo de valores económicos para rasgos productivos en sistemas ganaderos de carne bajo condiciones tropicales. Rewe *et al.* (2006) realizaron un estudio similar en ganado de raza Boran bajo condiciones de pastoreo en una región semiárida de Kenya. Dicho estudio también reporta valores económicos altos y positivos para rendimiento en canal, tasa de destete, porcentaje de carne consumible y tasa de sobrevivencia en vacas adultas; así como valores económicos intermedios para tasa de sobrevivencia posdestete, peso de vaca adulta y peso de venta de novillos. Estos resultados mayormente concuerdan con los obtenidos en el presente estudio.

Koots y Gibson (1998) también reportan valores económicos para sistemas de producción de carne con razas puras. Sus resultados indican que los rasgos con mayor valor económico son el rendimiento en canal, tasa de sobrevivencia en terneros y fertilidad; en congruencia con lo observado en el presente estudio. Forabosco *et al.* (2005) reportan un valor económico alto para fertilidad (expresado como número de terneros nacidos vivos) y un valor medio para longitud de vida productiva; así como un valor económico negativo para edad a primera inseminación, lo que también concuerda con los resultados del presente estudio.

4. CONCLUSIONES

El modelo construido permite cuantificar de manera bastante precisa el posible impacto (aislado y agregado) de distintas variables endógenas y exógenas, sobre la eficiencia la eficiencia bioeconómica de un sistema de producción bovino de cría y engorde bajo condiciones de pastoreo.

De acuerdo con el modelo la tasa de preñez es la variable biológica que presenta mayor impacto sobre la producción anual de kgs de ternero destetado por vaca expuesta y sobre la utilidad neta de la empresa con un valor económico estimado de 882 USD y contabilizando por un 23.9% de la variación en las utilidad neta. En segundo plano, el periodo abierto y el peso a mercado tienen valores económicos de -181.2 USD y 101.8 USD, respectivamente, contabilizando cada una por más del 10% de la variación en utilidad. Otras variables tales como el rendimiento en canal, la tasa de mortalidad predestete y descarte en adultos presentan también altos valores económicos, pero tienen un menor impacto relativo sobre las utilidades debido a que su variabilidad observada es menor. De estos resultados se infiere por lo tanto que las variables reproductivas son las más determinantes en la rentabilidad de una finca ganadera de cría y engorde.

El modelo permitió cuantificar que el margen de utilidad en este tipo de sistema es altamente sensible al precio de venta de la carne de novillo, al grado de que bajo condiciones de eficiencia promedio, una reducción menor al 10% en este precio implicaría márgenes de utilidad negativos. Esto denota la necesidad de que dichos sistemas maximicen su eficiencia biológica para disminuir su sensibilidad a los precios de mercado.

El modelo puede ser utilizado como herramienta de apoyo para la toma de decisiones, por ejemplo para evaluación de la factibilidad biológica y económica de distintas alternativas de intervención y para detectar las áreas de mayor sensibilidad en este tipo de sistemas. Los valores económicos calculados por el modelo pueden ser utilizados como punto de referencia en el análisis comparativo costo/beneficio de posibles alternativas de intervención. A manera de ejemplo, una alternativa podría considerarse viable siempre y cuando los costos adicionales que implique sean menores que los beneficios estimados por el incremento correspondiente en eficiencia; los cuales pueden ser estimado por el presente modelo.

Debido a que el modelo se maneja enteramente en ambiente de hoja electrónica su operación es sumamente sencilla, lo que permite explorar rápidamente el efecto de modificaciones en las distintas variables de entrada y realizar análisis bajo distintos tipos de escenarios (biológicos y económicos).

Aunque el modelo en su versión actual permite obtener estimaciones bastante precisas de la productividad del sistema, sin duda es todavía una representación muy simplificada de la

realidad. Se podría aumentar su utilidad si se consideran factores adicionales en la simulación, sobre todo en relación a la cuantificación de relaciones entre factores de consumo de nutrientes, crecimiento y reproducción, así como la consideración del patrón de rendimiento productivo (p.e rendimiento canal en machos) y reproductivo (p.e fertilidad en hembras) en individuos con distintas edades. Esto sin duda permitiría obtener estimados mucho más precisos de los valores económicos reales de los distintos rasgos de eficiencia biológica.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Davis, KC; Tess, MW; Kress, DD, Doornbos, DE; Anderson DC. 1994. Life Cycle Evaluation of Five Biological Types of Beef Cattle in a Cow-Calf Range Production System: II. Biological and Economic Performance. *J. Anim. Sci.* 72:2591-2598
- Forabosco, F; Bozzi, R; Boetcher, P; Filippini, F; Bijma, P; Van Arendonk, JAM. 2005. Relationships between profitability and type traits and derivation of economic values for reproduction and survival traits in Chianina beef cows. *J. Anim. Sci.* 83:2043-2051.
- Grant, W; Marín, S; Pedersen, E. 2001. *Ecología y manejo de recursos naturales: Análisis de sistemas y simulación.* IICA, San José, Costa Rica. 340 p.
- Julien, DJ.; Tess, MW. 2002. Effects of breeding date, weaning date, and grazing season length on profitability of cow-calf production systems in southeastern Montana. *J. Anim. Sci.* 80:1462–1469
- Konandreas, PA.; Anderson, FM. 1982. Cattle herd dynamics: An integer and stochastic model for evaluating production alternatives. International Livestock Centre for Africa Addis Ababa, Ethiopia. ILCA Research Report No. 2
- Koots, KR; Gibson, JP. 1998. Economic values for beef production traits from a herd level bioeconomic model. *Can J Anim Sci* 78:29-46.
- León Velarde, C; Quiroz R. 2001. Modeling cattle production systems: integrating components and their interactions in the development of simulation models. In: *Proceedings of the Third International Symposium on Systems Approaches for Agricultural Development.* International Potato Center (CIP), Lima Perú. p. 18
- Microsoft Corporation. Microsoft® Office Excel. 2003.
- Naazie, A; Makarechian, M; Hudson, RJ. 1999. Evaluation of life-cycle herd efficiency in cow-calf systems of beef production. *J. Anim. Sci.* 77:1-11.

- Noordhuizen, J; Frankena, K; Van der Hoofd, C; Graat, E. 1997. Application of quantitative methods in veterinary epidemiology. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. 445 p.
- Palisade Corporation. 2002. Advanced risk analysis for spreadsheets @RISK. Version 4.5. Palisade Corporation. Newfield, NY, USA.
- Pereda, M; González, S; Arjona, E; Bueno, G; Mendoza, G. 2005. Ajuste de modelos de crecimiento y cálculo de requerimientos nutricionales para novillos Brahman en Tamaulipas, México. *Agrociencia*. 39(1):19-27.
- Quiroz, R; Arce, B; Cañas, R; Aguilar C. 1994. Development and use of simulation models in animal production systems research. En: *Animal production system research; methodological and analytical guidelines*. IDRC/IICA-RISPAL; San José, C.R. pp.103-149.
- Rewe, TO; Indetie, D; Ojango, JMK; Kahi, AK. 2006. Economic values for production and functional traits and assessment of their influence on genetic improvement in the Boran cattle in Kenya. *J Anim Breed Genet* 123:23-36.
- Richards, Fj. 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Botanic*. 10:290-300.
- Sappag-Chain, N; Sappag-Chain, R. 1990. Preparación y evaluación de proyectos. 2da Edición. McGraw Hill. 390 p.
- SAS (SAS Institute Inc. US). 1990. SAS International guide for personal computers. Version 6.0. p
- Solano, C; Vargas, B. 1997. Crecimiento corporal de novillas de reemplazo en fincas lecheras de Costa Rica. 1. Tipificación de curvas de crecimiento en novillas Holstein y Jersey. *Arch. Latinoam. Prod. Anim. ALPA* 5(1):21-36.
- Tess, MW.; Kolstad, BW. 2000a. Simulation of cow-calf production systems in a range environment: I. Model development *J. Anim. Sci.* 78:1159–1169.
- Tess, MW; Kolstad, BW. 2000b. Simulation of cow-calf production systems in a range environment: II. Model evaluation *J. Anim. Sci.* 2000. 78:1170–1180.

- Ugalde, G. 2002. Administración de empresas agropecuarias. San José, Costa Rica. EUNED, 286 p.
- Van Arendonk, JAM. 1986. Studies on the replacement policies in dairy cattle. IV. Influence of seasonal variation in performance and prices. *Livest. Prod. Sci.* 14, 15-28.
- Vargas, B; Koops, WJ; Herrero, M; Van Arendonk, JAM. 1999. Modeling extended lactations of dairy cows of Costa Rica. *J. Dairy. Sci.* 83:1371-1380.
- Vargas, B; Herrero, M; Van Arendonk, JAM. 2001. Interactions between optimal replacement policies and feeding strategies in dairy herds. *Liv. Prod. Sci.* 6:17-31.
- Vargas, B; Groen, AF; Herrero, M; Van Arendonk, JAM. 2002. Economic values for production and functional traits in Holstein cattle of Costa Rica. *Liv. Prod. Sci.:* 75:101-116
- Vargas, B; Van Arendonk, JAM. 2004. Genetic comparison of breeding schemes based on semen importation and local breeding schemes: framework and application to Costa Rica. *J. Dairy Sci.* 87:1496-1505.
- Velásquez, JC; Alvarez, LA. 2004. Relación de medidas bovinométricas y de composición corporal *in vivo* con el peso de la canal en novillos Brahman en el valle del Sinú. *Acta Agronómica* 53(3).
- Werth, LA.; Azzam, SM; Nielsen, MK; Kinder, JE. 1991. Use of a simulation model to evaluate the influence of reproductive performance and management decisions on net income in beef production. *J. Anim. Sci.* 69:4710-4721.

6. ANEXOS

Anexo 1. Hoja de control para especificación de distribuciones de probabilidad^a en variables de entrada del modelo de simulación

The screenshot displays the @RISK - Model software interface. The main window shows the 'Inputs and Outputs' table, which is used for specifying probability distributions for input variables. The table has columns for Name, Lock, Cell, and Function. The left sidebar shows a tree view of 'Inputs' and 'Correlations'.

	Name	Lock	Cell	Function
1	Tasa de Preñez / Base	<input type="checkbox"/>	C5	RiskNormal(85, D5, RiskTruncate(, 95))
2	Tasa de Mortalidad Prenatal / Base	<input type="checkbox"/>	C6	RiskNormal(2,9, D6, RiskCorrmat(CorrDesc,3))
3	Descarte involuntario en adultos / Base	<input type="checkbox"/>	C7	RiskNormal(2, D7, RiskTruncate(0,), RiskCorrmat(CorrDesc,1))
4	Periodo Abierto / Base	<input type="checkbox"/>	C9	RiskNormal(124, D9)
5	Tasa de Mortalidad pre-detele / Base	<input type="checkbox"/>	C10	RiskNormal(7,1, D10, RiskCorrmat(CorrDesc,2))
6	Partos a Descarte / Base	<input type="checkbox"/>	C11	RiskDunifom(3,4,5,6,7)
7	Hembras (Richards) c= / Base	<input type="checkbox"/>	C15	RiskNormal(0,000731, D15)
8	Descarte involuntario H Destete-Parto / Base	<input type="checkbox"/>	C19	RiskNormal(4, D19, RiskCorrmat(CorrDesc,4))
9	Peso a primer Empadre / Base	<input type="checkbox"/>	C21	RiskNormal(320, D21)
10	Rendimiento en canal novillas desecho / Base	<input type="checkbox"/>	C22	RiskNormal(54,2, D22)
11	Machos (Richards) c= / Base	<input type="checkbox"/>	C27	RiskNormal(0,00107, D27)
12	Peso a Mercado de novillos / Base	<input type="checkbox"/>	C30	RiskNormal(450, D30)
13	Rendimiento en canal novillos engorde / Base	<input type="checkbox"/>	C32	RiskNormal(60,2, D32)
14	Precio kg canal novillo / Base	<input type="checkbox"/>	C33	RiskNormal(1285/C2, D33)
15	Peso promedio vaca desecho / Base	<input type="checkbox"/>	C35	RiskNormal(450, D35)
16	Rendimiento en canal vacas desecho / Base	<input type="checkbox"/>	C36	RiskNormal(52,8, D36)
17	Precio kg canal vaca desecho / Base	<input type="checkbox"/>	C37	RiskNormal(1000/C2, D37)
18	Costo Base Nacim-Destete / Base	<input type="checkbox"/>	C39	RiskNormal(costosC44, D39, RiskCorrmat(CorrCost,1))
19	Costo Base desarrollo H/M / Base	<input type="checkbox"/>	C40	RiskNormal(costosC78, D40, RiskCorrmat(CorrCost,2))
20	Costo Base engorde M / Base	<input type="checkbox"/>	C41	RiskNormal(costosD78, D41, RiskCorrmat(CorrCost,3))
21	Costo Base x año x vaca adulta / Base	<input type="checkbox"/>	C42	RiskNormal(costosC44, D42, RiskCorrmat(CorrCost,4))

^a Algunas distribuciones de probabilidad fueron “truncadas” con el fin de evitar la ocurrencia de valores biológicamente imposibles (p.e valores negativos)

Anexo 2. Hoja para cálculo de costos de mantenimiento en vacas de cría^a

Microsoft Excel - modelo			
Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? @RISK			
	A	B	C
1			
2	Estimación de Costos Operativos anuales por vaca adulta (con ternero al pie)		
3	Concepto	Conceptos intermedios	Costo
4		Tipo cambio (Col por \$)	503.00
5		Carga Animal UA/ha	2.50
6			
7	Mano de Obra		
8	Peón de ganado	Salario mínimo/jornal (Colones)	5,153.00
9		Cargas Sociales (%)	0.26
10		Costo x jornal normal (Colones)	6,492.78
11		Costo x jornal extra (Colones)	11,988.98
13		Costo 1 peón x año (\$) +aguinaldo	\$ 4,978.49
14		Razón Vacas por peón	280.00
15		Costo Mano de Obra peón/vaca/año	\$ 29.63
16			
17	Peones de campo	Costo 1 peón campo Año (\$)	\$ 3,356.11
18		Costo 1 peón campo Año (\$) +aguinaldo	\$ 3,635.78
19		vacas/peón campo	\$ 70.00
20		MOcampo/vaca/año	\$ 129.85
21		Costo Total MO/vaca/año	\$ 159.48
22			
23	Pastoreo	Alquiler por UA/Ha (colones)	1500
24		Alquiler de Pastoreo (\$/UA/mes)	\$ 1.19
25		alquiler (\$/UA/año)	\$ 35.79
26			
27			
28	Medicamentos+ Inseminación		
29		Desparasitantes	\$ 0.58
30		Vacunaciones	\$ 1.27
31		Otros	\$ 0.50
32		Costo Total MIA/vaca/año	\$ 2.35
33			
34	Mantenimiento de Instalaciones y Equipo		
35		Luz y Combustible	\$ 1.03
36		Transporte	\$ 1.70
37		Costo Total IE/vaca/año	\$ 2.74
38			
39	Mantenimiento Potreros		
40		Fertilizantes	\$ 0.95
41		Herbicidas	\$ 1.75
42		Costo Total Pot	\$ 2.70
43			
44	COSTO TOTAL /VACA/AÑO		\$ 203.06

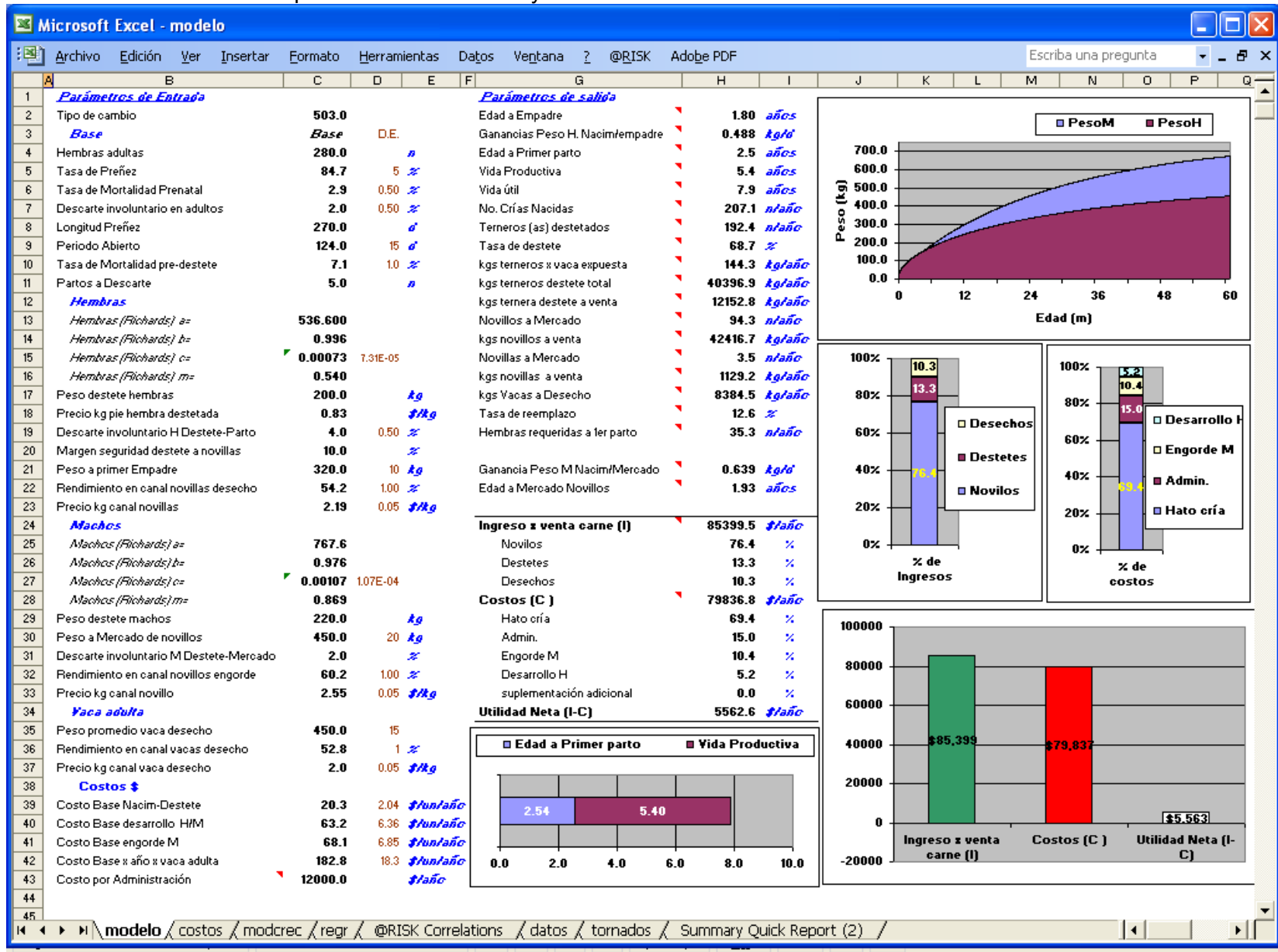
^a El costo de mantenimiento total por unidad animal en el hato de cría se distribuyó en 90% Vaca y 10% Ternero al pie

Anexo 3. Hoja para cálculo de costos de mantenimiento en machos y hembras en etapas de desarrollo y engorde

Microsoft Excel - modelo				
Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? @RISK Ado				
	A	B	C	D
49	Concepto	Conceptos intermedios		Costo
50	Mano de Obra			
51		Costo 1 peón ganado/animal/año (\$) + aguinaldo		\$ 4,978.49
52		Relación animales/peón ganadero		\$ 300.00
53		Costos MO ganadero /animal/año		\$ 6.64
54		Relación animales/peones campo		\$ 150.00
55		Costos MO peones campo/animal/año		\$ 13.28
56		Total Costo MO		\$ 19.91
57				
58	Pastoreo		Desarrollo	Engorde
59		Carga Animal (UA/ha)	3.00	2.90
60		Alquiler (\$UA/mes)	\$ 2.98	\$ 2.98
61		alquiler (\$UA/año)	\$ 35.79	\$ 35.79
62				
63	Medicamentos	Desparasitantes	\$	0.31
64		Vacunaciones	\$	1.27
65		Otros	\$	0.50
66		Costo Medicamentos/animal/año		\$ 2.08
67				
68	Mantenimiento de Instalaciones y Equipo			
69		Luz y Combustible	\$ 2.24	\$ 5.73
70		Transporte	\$ 0.78	\$ 2.23
71		Costo Total IE/animal/año	\$ 3.01	\$ 7.96
72				
73	Mantenimiento Potreros			
74		Fertilizantes	\$ 0.85	\$ 0.85
75		Herbicidas	\$ 1.55	\$ 1.55
76		Costo Total Potreros/animal/año	\$ 2.40	\$ 2.40
77				
78	COSTO TOTAL /ANIMAL/AÑO		\$ 63.19	\$ 68.14
79				
80				
81				
82				
83				
84				
85				
86				
87				
88				

← → ↶ ↷ \ modelo \ **costos** \ modcrec \ regr \ @RISK Correlations \ datos \ tornados \ Su

Anexo 4. Pantalla de control con parámetros de entrada y salida en formato de excel



Anexo 5. Hoja resumen de reporte de parámetros de salida y sus rangos de variación

Microsoft Excel - modelo									
Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ? @RISK Adobe PDF									
A B C D E F G H I J									
Summary Information									
3	Workbook Name		modelo.xls						
4	Number of Simulations		1						
5	Number of Iterations		5000						
6	Number of Inputs		21						
7	Number of Outputs		23						
8	Sampling Type		Latin Hypercube						
9	Simulation Start Time		14/12/2006 10:49						
10	Simulation Stop Time		14/12/2006 10:49						
11	Simulation Duration		00:00:32						
12	Random Seed		635951611						
Output			Statistics						
14	Name	Cell	Minimum	Mean	Maximum	x1	p1	x2	p2
15	Edad a Empadre	H2	1.10	1.82	2.97	1.48	5%	2.24	95%
16	Ganancias Peso H. Nacim/emp	H3	0.303	0.488	0.711	0.401	5%	0.576	95%
17	Edad a Primer parto	H4	1.8	2.6	3.7	2.2	5%	3.0	95%
18	Vida Productiva	H5	2.9	5.4	8.4	3.2	5%	7.7	95%
19	Vida útil	H6	5.1	8.0	11.3	5.6	5%	10.4	95%
20	No. Crías Nacidas	H7	156.3	207.4	259.6	182.9	5%	231.4	95%
21	Terneros (as) destetados	H8	144.6	192.7	245.0	169.3	5%	215.7	95%
22	Tasa de destete	H9	51.7	68.8	87.5	60.5	5%	77.0	95%
23	kgs terneros x vaca expuesta	H10	108.5	144.5	183.8	127.0	5%	161.8	95%
24	kgs terneros destete total	H11	30374.6	40457.5	51458.4	35559.0	5%	45299.3	95%
25	kgs ternera destete a venta	H12	5001.2	11878.6	18218.2	8102.4	5%	15289.8	95%
26	Novillos a Mercado	H13	70.9	94.4	120.1	83.0	5%	105.7	95%
27	kgs novillos a venta	H14	30956.9	42477.2	57248.7	36678.8	5%	48566.4	95%
28	Novillas a Mercado	H15	2.5	3.7	5.5	2.7	5%	5.0	95%
29	kgs novillas a venta	H16	788.8	1171.4	1748.6	864.2	5%	1588.9	95%
30	kgs Vacas a Desecho	H17	5469.1	8699.9	13580.6	6352.8	5%	11904.7	95%
31	Tasa de reemplazo	H18	8.9	13.1	19.7	9.7	5%	17.8	95%
32	Hembras requeridas a 1er part	H19	24.8	36.6	55.1	27.0	5%	49.9	95%
33	Ganancia Peso M Nacim/Merca	H21	0.402	0.639	0.865	0.529	5%	0.753	95%
34	Edad a Mercado Novillos	H22	1.28	1.96	3.21	1.58	5%	2.40	95%
35	Ingreso x venta carne (l)	H24	64222.4	85652.9	111469.5	74547.4	5%	97404.6	95%
36	Costos (C)	H28	58285.1	80209.2	102388.9	70217.8	5%	90472.0	95%
37	Utilidad Neta (I-C)	H34	-24540.7	5443.7	35976.1	-8572.0	5%	19611.3	95%

☰ ☰ ☰ ☰ \ modelo / costos / modcrec / regr / @RISK Correlations / datos / tornados / Summary Quick Report (2) \ Sun

Listo

DISCUSIÓN GENERAL Y RECOMENDACIONES