

01674
17



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN
Y DE LA SALUD ANIMAL.**

**“EFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA
SOBRE ALGUNOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS
Y REPRODUCTIVOS DE NOVILLAS DEL TRÓPICO
HÚMEDO DE COSTA RICA”.**

T E S I S
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS
P R E S E N T A :
MARTÍN GUILLERMO MAQUÍVAR LINFOOT

TUTOR: PhD. CARLOS SALVADOR GALINA HIDALGO
COMITÉ TUTORAL: PhD. GERMÁN DAVID MENDOZA MARTÍNEZ
PhD. CARLOS GUILLERMO GUTIÉRREZ AGUILAR

MÉXICO, D.F.

2003

1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre MVZ Martín Maquívar Castrejón

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e imprimir el contenido de mi trabajo de tesis.

NOMBRE: MARTÍN QUILLERMO
MAQUIVAR LINCOLN
FECHA: 12 NOV 03
FIRMA: [Firma]

**A mi madre y a mis hermanos.
A todos los animales que han servido
y servirán para la investigación.**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Carlos Galina por darme su apoyo, consejo y ayuda durante mi formación profesional y por ser para mí como un padre.

Al Dr. Germán Mendoza por haberme apoyado con sus consejos y por su enorme trabajo en la realización de esta tesis.

A los Doctores miembros del comité evaluador, Dr. Carlos Gutiérrez, Dr. Francisco Castrejón, Dr. Jaime Gallegos y al por sus valiosas aportaciones y consejos al presente trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México a través de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia por darme la oportunidad de ser mejor cada día, así como a mis maestros que contribuyeron a mi desarrollo.

A la Secretaría de Relaciones Exteriores de México, al gobierno de Costa Rica y a las autoridades de ANUIES – CSUCA por haber financiado el proyecto de investigación, así como a CONACYT por la beca otorgada para la realización de estos estudios.

A la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) y al Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR) por haberme facilitado material e instalaciones para la realización de este trabajo.

Al Dr. Rafael Molina, Dr. Jaime Galindo, Dra. Sandra Estrada, Dr. Juan José Romero y Analú por su constante apoyo durante mi estancia en Costa Rica.

Al Lic. Maximiliano Hernández y a la MVZ Juliana García por su apoyo durante las distintas etapas de mi vida.

A todos mis compañeros y hermanos del ITCR que me ayudaron y me brindaron su amistad, así como al personal de las fincas la Vega y la Balsa del ITCR, así como a Silvia Elena y familia por el cariño y apoyo durante la realización de este trabajo.

A la MVZ María Pifarré i Olivé por haberme dado su apoyo y comprensión durante la realización de mis estudios.

A mis compañeros de maestría: Soledad, Iván, Paula, Adriana, Agustín, Nico, Horte, Paulo, Ysa, Paulina, Simone así como a mis compañeros del Colegio de Posgraduados del Programa de Ganadería, por haberme dado su apoyo y ayuda durante mis estudios.

Al Ing. José Luis Pablos y a la Dra. Silvia Buntix por la invaluable ayuda y consejos brindados durante mis estudios.

A la MSc. Susana Rojas y a la MVZ Clara Murcia por su apoyo en la fase de análisis de las muestras en el Laboratorio de Endocrinología de la FMVZ.

Al departamento de Reproducción de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM y al personal de Posgrado por su apoyo constante.

ÍNDICE

I. Introducción General	1
1.2. Objetivo General	4
II. Revisión de Literatura.	
2.1. Efecto de la nutrición en la reproducción bovina	5
2.2. Nutrición y Foliculogénesis	15
2.3. Tejido graso como órgano endocrino y su relación con la reproducción	24
2.4. Suplementación alimenticia de los bovinos en condiciones de pastoreo	32
2.5. Modelos de simulación para la predicción de la respuesta animal	36
III. Experimentos	
3.1. Experimento 1	
Efecto de la suplementación alimenticia en algunos parámetros productivos y reproductivos en novillas del trópico húmedo de Costa Rica.	40
3.1.1. Introducción.	42
3.1.2. Material y Métodos	44
3.1.3. Resultados	47
3.1.4. Discusión	57
3.1.5. Literatura citada	61
3.2. Experimento 2	
Predicción de la ganancia diaria de peso mediante el uso del modelo NRC en novillas suplementadas en el trópico húmedo de Costa Rica.	64
3.2.1. Introducción.	66
3.2.2. Material y Métodos	67
3.2.3. Resultados	70
3.2.4. Discusión	71
3.2.5. Literatura citada	75
IV. Discusión General	85
V. Literatura Citada	89
VI. Anexos	103
Análisis de los suplementos utilizados.	103
Composición química del suplemento mineral	104
Datos meteorológicos de la zona de Santa Clara, San Carlos, Costa Rica	105

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1	Respuesta a la sincronización del estro. Experimento 1.	50
Cuadro 2	Respuesta a la sincronización del estro. Experimento 2	55
Cuadro 3	Valores nutricionales de los forrajes de los potreros	80
Cuadro 4	Cambios de peso en novillas con o sin suplemento en los dos experimentos	81
Cuadro 5	Predicción de ganancia con modelo NRC y valores de consumo estimados	82

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Procesos por los cuales el ácido linoleico es transformado en ácido araquidónico	12
Figura 2	Representación de la síntesis de prostaglandinas a partir del ácido araquidónico almacenado en la membrana celular plasmática	13
Figura 3	Influencia hormonal durante el crecimiento y desarrollo final del folículo ovulatorio	16
Figura 4	Mecanismos por los cuales la nutrición afecta la actividad ovárica	18
Figura 5	Concentraciones de IGF-1 en novillas sometidas a restricción alimenticia hasta el anestro y su subsiguiente alimentación hasta alcanzar la ovulación	21
Figura 6	Mecanismo propuesto por Jolly et al. (1995) por el cual la nutrición afecta el anestro posparto.	23
Figura 7	Probabilidad de actividad ovárica de acuerdo al peso y la puntuación de la condición corporal en novillas Brahman	25
Figura 8	Factores hormonal secretados por el tejido graso	26
Figura 9	Efecto de la leptina sobre el funcionamiento reproductivo	28
Figura 10	Mecanismos de síntesis de hormonas esteroideas a partir de colesterol	30
Figura 11	Dinámica folicular de los grupos experimentales a lo largo de las distintas etapas del experimento 1	49

Figura 12	Comparación de pesos y condición corporal a lo largo del estudio entre el grupo suplementado y el no suplementado, experimento 1	53
Figura 13	Dinámica folicular de los grupos experimentales a lo largo de las distintas etapas del experimento 2	54
Figura 14	Comparación de pesos y condición corporal a lo largo del estudio entre el grupo suplementado y el no suplementado 2	56
Figura 15	Precipitación pluvial promedio acumulada durante los años 2000 y 2001 en la zona de Santa Clara, San Carlos, Alajuela, Costa Rica	60
Figura 16	Cambios de peso en vaquillas <i>Bos taurus</i> x <i>Bos indicus</i> con suplementación (GS) y sin suplementación (GNS) durante el experimento 1.	83
Figura 17	Cambios de peso en vaquillas <i>Bos taurus</i> x <i>Bos indicus</i> con suplementación (GSb) y sin suplementación (GNSb) durante el experimento 2.	84

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA SOBRE ALGUNOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y REPRODUCTIVOS DE NOVILLAS CEBUÍNAS EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE COSTA RICA.

I. Introducción General.

En las áreas tropicales la producción de animales de reemplazo ha sido señalado como una de las etapas críticas de la producción vacuna, en virtud de las bajas ganancias de peso que experimentan los animales en el periodo posdestete, con el consiguiente retardo en los procesos de crecimiento y madurez fisiológica (Plasse 1978, 1979; Mukassa-Mugerwa, 1989).

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^a) 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 al primer empadre 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.

Por otra parte existen numerosos factores que influyen en la presentación de la pubertad, entre los que se encuentran el genotipo, el bajo estado nutricional de los animales, manejos inadecuados, estacionalidad de los forrajes, factores de tipo social (Garverick y Smith, 1993)

PAGINACIÓN DISCONTINUA

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. Cavalieri y Fitzpatrick (1995) evaluaron el efecto de la condición corporal, estado ovárico y régimen de inseminación artificial en las tasas finales de preñez, sus resultados indicaron que las novillas que presentan mejor condición corporal y mayor peso, tienen mayor probabilidad de ciclar y por ende de quedar preñadas. A su vez Soto *et al.* (1997) estudiaron el efecto de la suplementación alimenticia en el desempeño productivo y reproductivo en 90 vaquillas Brahman, sus resultados sugieren que la suplementación mejora los parámetros productivos como ganancia diaria de peso vivo y condición corporal; sin embargo, al momento de analizar el desempeño reproductivo de los animales, encontraron que los parámetros reproductivos no se vieron afectados, es decir que los animales suplementados y los no suplementados obtuvieron valores similares en cuanto a actividad ovárica, respuesta a la sincronización, tasa final de preñez y número de servicios por concepción.

En diversos estudios se ha mencionado el efecto que juega la nutrición sobre la reproducción, así Murphy *et al.* (1991) mencionaron que una baja en el consumo de la dieta reduce el diámetro y la persistencia del folículo dominante. Roberson *et al.* (1992) indicaron que debido a una restricción en el consumo energético de los animales los patrones de gonadotropinas (FSH y LH) son modulados por la condición corporal; es decir, que en fases en las cuales los animales pierden puntos los patrones de gonadotropinas se ven afectados directamente, en consecuencia Stevenson *et al.* (1987) señalaron que debido a un balance energético negativo existe una baja expresión del estro y pobres resultados en programas de sincronización, asociados con el inconsistente crecimiento y maduración de los folículos.

El desempeño reproductivo de los animales está en función de la época del año, la estacionalidad de los forrajes y las condiciones ambientales, así Lamothe-Zavaleta *et al.* (1995) investigaron el efecto de la época del año sobre la expresión del estro, observando que la manifestación de los signos sexuales se ve afectada por la época del año, en la temporada de lluvias los animales tienden a suprimir el estro. 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.

Ante la necesidad de implementar técnicas como la Inseminación Artificial (IA) y la Transferencia de Embriones (TE) que permitan el mejoramiento genético y elevar el potencial productivo y reproductivo de los animales criados en zonas tropicales es necesario implementar programas de inducción y sincronización de estros (Cunningham, 1989). Sin embargo, este tipo de técnicas requiere de animales con condiciones similares de edad y estado nutricional, así el desarrollo de los animales de reemplazo cobra especial importancia como uno de los aspectos críticos de la producción vacuna, en virtud de las bajas ganancias de peso que experimentan los animales en el periodo postdestete, con el consiguiente retardo en los procesos de crecimiento y madurez fisiológica. (Plasse 1978, Mukassa-Mugerva 1989), para tal fin se han desarrollado e implementado programas de suplementación alimenticia en épocas críticas del año, con el fin de evitar pérdidas de peso

y condición corporal y de esta manera tener novillas en condiciones óptimas para la implementación de las diversas técnicas reproductivas.

1.2. Objetivo General

Determinar el efecto de la suplementación alimenticia a hembras de reemplazo sobre algunos parámetros productivos y reproductivos bajo condiciones de pastoreo en el trópico.

Objetivos específicos:

- ❖ Correlacionar el efecto de la suplementación alimenticia en vaquillas de reemplazo sobre diversas variables de respuesta las cuales son: ganancia de peso (GP/kg), condición corporal (CC), longitud del ciclo estral mediante el nivel plasmático de progesterona (días), número de folículos de diversos tamaños (mm), tamaño del cuerpo lúteo (mm), número de servicios por concepción, índice de gestación a primer servicio (%) e índice de gestación total (%).
- ❖ Evaluar la conducta estral de vaquillas suplementadas y no suplementadas después de una sincronización mediante la utilización de un progestágeno sintético.
- ❖ Estimar la respuesta a la suplementación de los animales por medio del modelo de simulación NRC 2000 y contrastar esta predicción con la respuesta biológica.
- ❖ Evaluar los posibles efectos asociativos entre la suplementación y el pastoreo en los parámetros productivos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. EFECTO DE LA NUTRICIÓN EN LA REPRODUCCIÓN

En las áreas tropicales la producción bovina presenta numerosas ventajas así como desventajas. Dentro de estas últimas se ha presentado una baja productividad reflejada en las pobres ganancias de peso, retardo en los procesos de crecimiento y madurez fisiológica, constituyendo estos factores una limitante para la planeación de los programas reproductivos. 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 los puntos más críticos para la reproducción bovina.

Para solucionar esta problemática se han desarrollado estrategias de suplementación alimenticia de los animales en las épocas críticas del año (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)

Influencia de la nutrición

Los factores nutricionales tienen un papel importante en los diferentes mecanismos reproductivos. Así, en el caso de los bovinos, se han estudiado indicadores del estado nutricional del animal, tales como la condición corporal, consumo de alimento y marcadores internos como la Leptina, factor similar a la insulina (IGF-1) y la hormona del crecimiento (GH). En recientes investigaciones se ha podido determinar que existen otros

factores hormonales que afectan a la reproducción. De esta forma se han descrito diversos mecanismos de acción en los cuales la nutrición afecta a la reproducción (Webb *et al.*, 1999). O'Callaghan y Boland (1999) sugirieron que el estado energético es considerado el factor nutricional más importante que puede afectar en los procesos reproductivos; ya que, la energía es requerida para la incorporación de material nitrogenado a la proteína microbiana, lo que repercutirá en el metabolismo proteico. Por lo tanto la energía es de primordial importancia en los procesos productivos y reproductivos de los animales, Poppi y McLennan (1995) mencionan que la alimentación con suplementos energéticos puede ser una efectiva forma de proveer al animal con una fuente extra de proteína microbiana, al permitir la utilización del amoníaco como fuente de nitrógeno no proteico por parte de los microorganismos ruminales.

1.- Eje Hipotálamo e Hipófisis y su relación en la nutrición-reproducción.

Rhodes *et al.* (1996) indicaron que las concentraciones de Hormona Folículo Estimulante (FSH) no se encuentran tan afectadas por la nutrición en comparación con la Hormona Luteinizante (LH) cuya concentración puede verse afectada por cambios en el peso, pérdidas en la condición corporal y variaciones en la disponibilidad del alimento los cuales pueden llegar a alterar el patrón de secreción de LH (Yelich *et al.*, 1996). La nutrición parece afectar la secreción de gonadotropinas (FSH y LH) y particularmente afecta la frecuencia de pulsos de LH con la consecuente falta de maduración final del folículo. Roberson *et al.* (1992) observaron que la respuesta a la Hormona Liberadora de Gonadotropinas (GnRH) disminuye una vez que el animal ha alcanzado una condición corporal límite y que a partir de esta continua perdiendo peso. Downing y Scaramuzzi (1991) sugirieron que el efecto de la nutrición con la concentración de FSH circulante está en función de la glucosa, de los aminoácidos, y hormonas que llegan a afectar el

metabolismo nutricional tales como la insulina, hormona del crecimiento, IGF's y proteínas, las cuales están implicadas en los mecanismos de la ovulación.

2.- Acción directa de la nutrición en los ovarios.

Después de la absorción de los nutrientes estos son transportados directamente a los tejidos, entre ellos el ovárico, la energía y la proteína pueden llegar a afectar la capacidad de las células endocrinas para responder a las gonadotropinas (LH y FSH). Así, Webb y Armstrong (1998) sugirieron que la energía y la proteína pueden llegar a regular la expresión del RNAm para la codificación de Factor similar a la insulina (IGF-1) que es producido en el ovario mismo. Esta hormona estimula el reclutamiento folicular por oleada y en consecuencia puede llegar a aumentar la tasa de ovulación, al incrementar la sensibilidad de las células de la granulosa a la FSH (Gong *et al.*, 1993) Por otra parte Lucy *et al.* (1991) comprobaron que la dieta y el equilibrio energético pueden inducir a cambios específicos en la secreción de factores de crecimiento similares a la insulina. Al respecto numerosos estudios han tratado de identificar los metabolitos que median la respuesta a la suplementación de los animales, así Downing *et al.* (1995^b) observaron que en concentraciones altas de insulina en plasma inducidas por la infusión intravenosa de glucosa, la tasa de ovulación se incrementa en ovejas (2.5 vs.1.9), por lo que concluyen que el incremento en la tasa de ovulación está en función de la disponibilidad de glucosa. Asimismo, Downing *et al.* (1995^b) sugieren que los aminoácidos como la leucina, isoleucina y valina incrementan la tasa de ovulación. En contraste la producción de esteroides (progesterona, estrógenos y andrógenos) no se vio afectada por la infusión de glucosa o insulina (Downing *et al.*, 1995^b).

Por otra parte Butler (2000) sugirieron que en condiciones de balance energético negativo se inhibe la frecuencia pulsátil de LH, y se reduce la capacidad del ovario de responder a la estimulación por LH. La concentración de IGF-1 en plasma está íntimamente relacionada con el nivel energético del animal, así cuando la concentración de IGF-1 se encuentra baja, el desarrollo folicular se suprime (Beam y Butler, 1999). Los factores de crecimiento (IGF's) y sus receptores se encuentran distribuidos en una amplia variedad de tejidos en el organismo y están involucrados en el control de los procesos anabólicos y catabólicos que constituyen la respuesta a los cambios nutricionales que sufre el animal a lo largo de su etapa productiva. Ryan *et al.* (1994) reportaron la relación entre las concentraciones de IGF-1 y la puntuación de la condición corporal, sus resultados indican que los animales que presentan puntuaciones de condición corporales extremos (altos y bajos) tienden a presentar bajos niveles de IGF-1 en comparación con animales con puntuación intermedia, debido a que los animales que presentan condiciones corporales bajas también presentan un desarrollo folicular pobre, concluyendo que la concentración de IGF-1 es afectada directamente por la nutrición.

El sistema de IGF en el ovario es un componente primordial para la regulación de la foliculogénesis y al parecer la IGF-1 folicular es un importante regulador de la síntesis de progesterona por parte del folículo, (Armstrong y Webb 1997; Webb y Armstrong 1998) ya que una de las funciones de la IGF-1 es la de incrementar la sensibilidad a la FSH de las células de la granulosa las cuales son las encargadas de la producción de progesterona.

3.- Producción de esteroides.

Los folículos tienen capacidad de producir hormonas esteroides, principalmente estradiol, aunque también sintetizan andrógenos y progestágenos (Fortune y Hansel, 1985) siendo el caso de los rumiantes las células de la teca la fuente de andrógenos, y las células de la

granulosa la fuente de estrógenos (Fortune, 1986). Estas células a su vez están reguladas por las hormonas gonadotropinas, así las células de la teca poseen receptores para LH (Bao *et al.*, 1997) mientras que las células de la granulosa contienen receptores para FSH y en etapas avanzadas de desarrollo folicular receptores para LH.

El precursor de las hormonas esteroideas es el colesterol, al respecto Straus *et al.* (1981) señalaron como fuentes el contenido en la circulación sanguínea en forma de lipoproteínas, depósitos de células ováricas tales como colesterol libre en las membranas celulares, o ésteres de colesterol almacenado dentro de las gotas lipídicas del citoplasma y finalmente el colesterol sintetizado de novo a partir de acetato derivado del metabolismo de carbohidratos, grasas o proteínas. Así Gwynne y Strauss (1982) reportaron que la fuente más importante de colesterol esteroideogénico son las lipoproteínas circulantes.

Silva (2001) concluyó que la síntesis y secreción de esteroideas foliculares es esencial para que las funciones reproductivas se realicen de forma eficiente y que cualquier factor que modifique o altere el patrón de síntesis y secreción se ve reflejado en una disminución de la fertilidad. Por otra parte Williams (2002) indicó que el Cuerpo Lúteo (CL) tiene la capacidad de utilizar grandes cantidades de colesterol. Durante la fase lútea intermedia las concentraciones de P4 tienden a suprimir la síntesis de esta misma y se incrementa la tasa de utilización del colesterol. Por lo tanto se puede concluir que el metabolismo de los lípidos influye directamente en la reproducción, al regular la cantidad de hormonas esteroideogénicas que se sintetizan y por otra parte el control del crecimiento y viabilidad de las células de la teca y de la granulosa.

Los esteroideas tienen un papel importante en la secreción de gonadotropinas, así la progesterona inhibe la secreción de GnRH y por ende la liberación de LH y FSH, los

estrógenos ejercen una retroalimentación positiva en el hipotálamo para la liberación de GnRH e inducir la liberación del pico pre-ovulatorio de LH. (Garverick y Smith, 1993)

4.-Hormonas metabólicas.

Existen dos factores primordiales para la presentación de la pubertad en el ganado bovino, el peso vivo y la edad (Galina y Arthur, 1990). Kinder *et al.* (1995^b) reportaron que para la presentación de la pubertad es necesario la maduración del eje hipotálamo – hipófisis - gonadal, ya que este eje se encuentra inhibido por acción de los estrógenos en las etapas tempranas de la vida del animal, sin embargo, actualmente se reconoce que la pubertad presenta una mayor dependencia asociada con el peso que con la edad, por lo que existe un peso crítico que permite al animal iniciar los procesos reproductivos por medio de una señal metabólica. Maffei *et al.* (1995) señalaron que la Leptina es secretada por los adipocitos y que está se encuentra en circulación en función de la cantidad de tejido adiposo corporal, la Leptina lleva información relacionada con las reservas de energía existiendo receptores para Leptina en numerosas partes del cerebro y del cuerpo (incluyendo al ovario) (Steiner, 1996)

La hipótesis indica que esta hormona actúa como “transductor del apetito” y como factor de saciedad. En ratas se ha observado que un incremento en la circulación de Leptina suprime el RNAm del Neuropeptido Y (la cual estimula el consumo del alimento) e incrementa el RNAm para la liberación de la hormona corticotropina la cual actúa a su vez inhibiendo el consumo del alimento (O’Callaghan y Boland 1999).

Barash *et al.* (1996) observaron que la administración de Leptina estimula la secreción de GnRH y la liberación de LH en células pituitarias en condiciones in vitro, aunque el

mecanismo por el cual la Leptina actúa en el eje Hipotálamo – Hipófisis – Gonadal se desconoce, se cree la Leptina tiene actividad en diferentes niveles del eje (O'Callaghan y Boland, 1999). Sin embargo, existe otra hormona que se encuentra íntimamente ligada a los procesos reproductivos, tal es el caso de la hormona del crecimiento (GH), la cual se ha demostrado que tiene un efecto positivo en la foliculogénesis al incrementar el número de folículos que alcanzan un desarrollo superior a los 9 mm de diámetro. Se ha atribuido este efecto a un posible cambio en la concentración de metabolitos como la glucosa sanguínea y hormonas como la insulina, IGF-1 y proteínas ligadoras de IGF-1. Paradójicamente Lucy *et al.* (1993) observaron que los folículos ováricos carecen de receptores para la GH, investigaciones recientes (Pell y Bates, 1993) han demostrado que animales alimentados con un exceso en cuanto a los requerimientos del animal de acuerdo a su etapa fisiológica, presentan una disminución en las concentraciones de GH, que es contraria a las concentraciones de IGF-1, las cuales se incrementan, estos resultados sugieren que los efectos de la hormona del crecimiento en el desarrollo folicular son de forma indirecta.

5.- Efecto de la nutrición sobre el útero

La nutrición a nivel uterino (específicamente los ácidos grasos) tiene un papel primordial en la síntesis de prostaglandinas, las cuales son importantes reguladoras del parto, regresión del cuerpo lúteo conduciendo al inicio de un nuevo ciclo estral. Asimismo, existen una gran variedad de tipos de prostaglandinas, las prostaglandinas de importancia en la reproducción son la $PGF_2\alpha$ y la PGE_2 (Mattos *et al.*, 2000). El ácido araquidónico es el precursor de este tipo de hormona, este, a su vez tiene que ser sintetizado a partir del ácido linoleico por

medio de procesos de desaturación y elongación, una vez formado el ácido se almacena en los fosfolípidos de la membrana celular plasmática. (Figura 1)

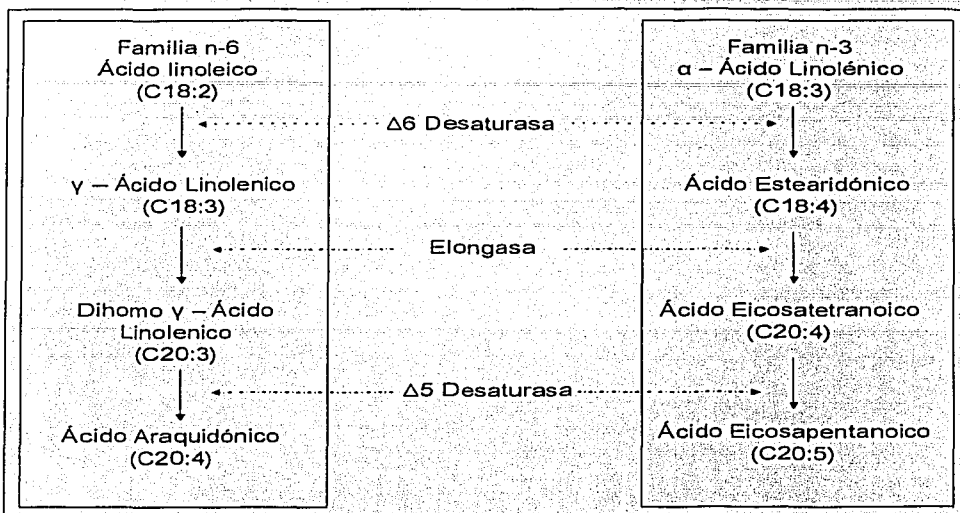


Figura 1. Procesos por los cuales el ácido linoleico es transformado en ácido araquidónico (Mattos et al., 2000)

La síntesis de prostaglandinas inicia cuando el ácido araquidónico se libera de los fosfolípidos por medio de la fosfolipasa. Posteriormente un complejo enzimático (PGHS) se encarga de producir prostaglandinas a partir del ácido araquidónico liberado. (Figura 2)

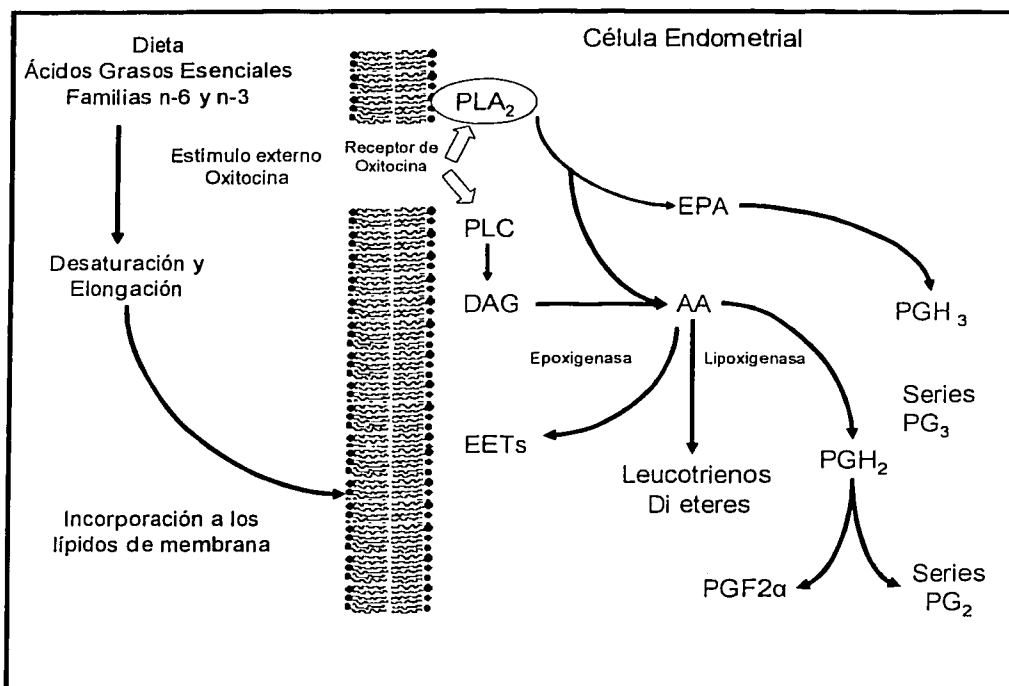


Figura 2. Representación de la síntesis de prostaglandinas a partir del ácido araquidónico almacenado en la membrana celular plasmática. La oxitocina estimula al actividad de la Fosfolipasa (PLA₂) y de la fosfolipasa C (PLC) las cuales incrementan la disponibilidad de fosfolípidos y ácidos grasos por el mecanismo de la prostaglandina H sintetasa (PGHS). El ácido eicosapentanoico (EPA) es procesado por medio de la PGHS para generar prostaglandinas de la serie 3. El ácido araquidónico (AA) puede ser procesado por medio de la PGHS, epoxigenasa y lipoxigenasa para generar prostaglandinas de la serie 2, ácidos epoxyeicosatrenoico (EETs), leucotrienos y ácido hidroxieicosatetranoico (di-Hetes) Diacilglicerol (DAG) (Mattos et al., 2000)

Asimismo se ha demostrado que la alimentación con ácidos grasos poli-insaturados como el ácido linoleico, linolénico, eicosapentanoico y docosahexaenoico puede llegar a inhibir la síntesis de prostaglandina F2α a través de mecanismos que afectan la disponibilidad del ácido araquidónico, ya que la síntesis de este componente en el hígado puede verse

disminuida por la alta concentración de PUFAs (Ácidos grasos poli-insaturados), particularmente el ácido eicosapentanoico y el ácido docosahexanoico, al actuar estos como inhibidores de la desaturación y elongación en las células hepáticas. Esto ha traído como consecuencia importantes repercusiones prácticas para evitar la muerte embrionaria temprana al suprimir la secreción de $\text{PGF}_{2\alpha}$ y por ende evitar la regresión del cuerpo lúteo. (Mattos *et al.*, 2000).

El efecto de la nutrición en la reproducción es complejo, ya que intervienen numerosos factores además de diversas vías en las cuales la nutrición desempeña un papel primordial, así, los nutrientes de la dieta proporcionan los recursos necesarios para la síntesis de hormonas y enzimas que participan en los diferentes eventos reproductivos, además tienen funciones tan especializadas como la de marcadores internos que le permiten al animal regular los procesos endocrinos y fisiológicos que le lleven a expresar el potencial reproductivo del mismo. A medida de que se identifiquen los mecanismos por los cuales la nutrición afecta a la reproducción y se establezca una adecuada relación entre la producción, nutrición y reproducción se incrementará la eficiencia de los animales y en consecuencia se obtendrán individuos mejor adaptados a las condiciones de producción.

2.2. NUTRICIÓN Y SU EFECTO SOBRE LA FOLICULOGÉNESIS

La reproducción en los hatos bovinos es uno de los aspectos más importantes en la producción tanto de carne como de leche. Uno de los principales problemas asociados a la infertilidad en el ganado tanto lechero como cárnico es la inconsistencia en los procesos de crecimiento y maduración final de los folículos, lo que trae como consecuencia serios problemas reproductivos tales como quistes ováricos, estados anovulatorios y finalmente anestro, que representan importantes pérdidas que repercuten en la eficiencia reproductiva del hato (Barman y Currie, 1980), por otra parte, se ha relacionado la pobre respuesta a los programas de sincronización y superovulación a deficiencias en las etapas de selección y dominancia de los folículos causadas a su vez por deficiencias nutricionales, por lo que los programas de mejoramiento genético tales como la inseminación artificial (IA) y transferencia de embriones (TE) han tenido resultados muy variables. (Stevenson *et al.*, 1987).

Varios estudios han demostrado el efecto de la nutrición sobre la eficiencia reproductiva y más específicamente el efecto que juega sobre la foliculogénesis, así Mackey *et al.* (1999) sugirieron que en estados en los cuales los animales sufren una restricción nutricional y por lo tanto caen dentro de un balance energético negativo, las hembras muestran un decremento en el diámetro de los folículos dominantes, conduciendo esto hacia el estado anéstrico. Bossis *et al.* (1999) estudiaron 18 novillas Angus x Hereford, demostraron que aquellas a las que se les practicó una restricción alimenticia, se mostraban anovulatorias, además observaron que el diámetro folicular de los animales a los cuales se les practicó la restricción alimenticia era un 50% menor en comparación a los diámetros foliculares que

presentaban las novillas del grupo testigo y en adición, la concentración de LH, estradiol y la secreción de IGF-1 fue superior en las novillas del grupo testigo que en las del grupo con restricción. Lo anterior demostró que estados con déficit nutricional pueden llegar a afectar el diámetro del folículo dominante y por ende la ovulación. Por otra parte se ha tratado de entender el mecanismo por el cual la nutrición afecta la foliculogénesis, se sabe que los reguladores principales del crecimiento folicular son las gonadotropinas (FSH y LH) (Figura 3), sin embargo estudios recientes han demostrado que existen una serie de factores locales los cuales aunado a las gonadotropinas, son responsables del crecimiento y maduración final de los folículos. Sin embargo, existe la hipótesis de que el principal sitio de influencia de la nutrición sea a nivel ovárico (Gong, 2002)

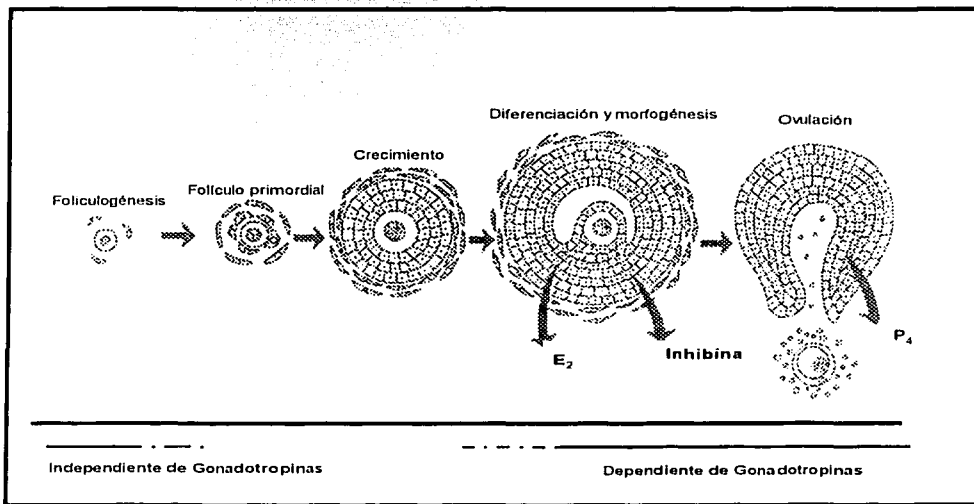


Figura 3. Influencia hormonal durante el crecimiento y desarrollo final del folículo ovulatorio (Webb et al., 1999)

Existen numerosos agentes que pueden llegar a afectar la foliculogénesis en el ganado, tales factores son: genéticos, nutricionales y el efecto que tienen sobre las hormonas como insulina y el factor de crecimiento similar a la insulina (IGF-1) las cuales interactúan con las gonadotropinas a nivel ovárico para el crecimiento, el desarrollo de los folículos y finalmente la ovulación. Armstrong y Webb (1997) sugirieron que el sistema IGF-1 es el encargado de la regulación interna de la foliculogénesis la cual es afectada directamente por el estado nutricional del animal, la energía proveniente de la dieta como la proteína pueden llegar a regular la expresión del RNAm componente principal del sistema IGF-1. Este potencializa el efecto de la hormona FSH, la actividad de la enzima aromatasas y estimula la producción de receptores para LH en las células de la granulosa. se ha demostrado en roedores que los esteroides (específicamente los estrógenos) pueden llegar a modular el crecimiento y desarrollo final de los folículos (Webb *et al.*, 1999).

Lucy *et al.* (1992) sugirieron que existen etapas en las cuales el estado nutricional de los animales actúa como señal para inhibir o activar procesos en los ovarios, tal es el caso de la pubertad y durante el posparto. Diskin *et al.* (2003) en una revisión de literatura sugieren que el estado nutricional del animal afectará el crecimiento folicular, maduración y la capacidad de ovulación del mismo, así proponen un esquema en el cual se muestran los posibles mecanismos por los cuales la nutrición pudiera afectar a la reproducción, así se puede observar en la Figura 4 que existen diversas vías por las cuales la nutrición puede afectar el desarrollo folicular, la principal es por medio del eje hipotálamo – hipófisis – ovario. Sin embargo, existen otros factores hormonales que pueden afectar la foliculogénesis, tal es el caso de los péptidos opioides endógenos (EOP), cuya principal función es la de regular el consumo de alimento, existiendo evidencia de que estos actúan como neuromoduladores en la inhibición de la secreción de LH en el posparto. Sinclair *et*

al. (1995) demostraron que los péptidos opioides están correlacionados positivamente con el estado energético del animal. Por otra parte se ha descrito que los EOP pueden llegar a alterar la secreción de GnRH por vía del neuropéptido Y (el cual actúa como factor de saciedad y potente inhibidor de la secreción de LH) y consecuentemente se ve afectado el balance energético del rumiante. (McShane *et al.*, 1993, Figura 4)

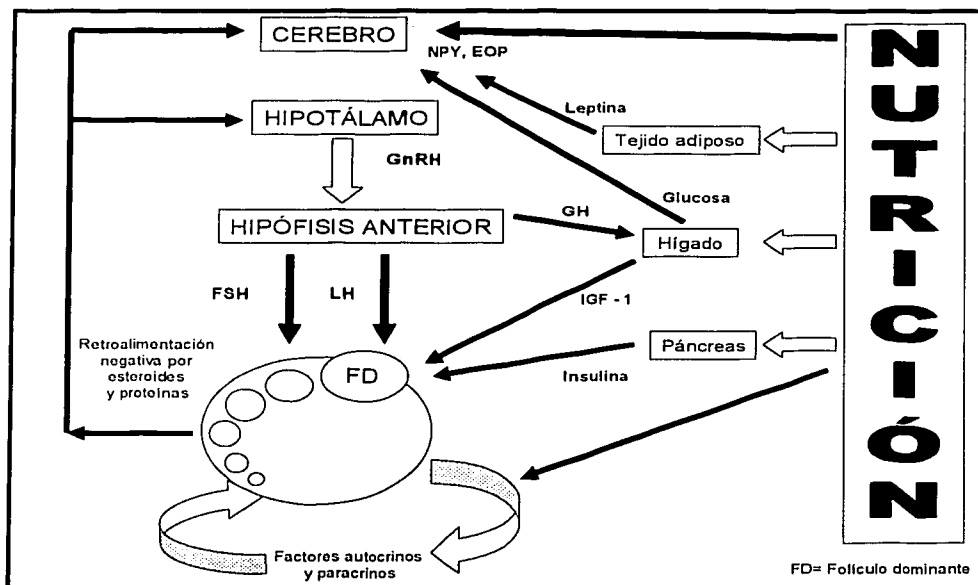


Figura 4. Mecanismos por los cuales la nutrición afecta la actividad ovárica (Diskin *et al.*, 2003)

Efectos nutricionales durante la pubertad.

Numerosas investigaciones han puesto de manifiesto el efecto de la nutrición y más específicamente el efecto de la condición corporal en el inicio de la actividad ovárica y el establecimiento de los ciclos normales en novillas. Foster y Nagatani (1999) concluyen que para el inicio de la pubertad es más importante el tamaño del animal que la edad del mismo.

con base en que el cerebro requiere "reconocer" cierto desarrollo corporal mínimo para comenzar con los mecanismos reproductivos. Por otra parte se ha especulado sobre la posibilidad de factores intrínsecos que actúen como señalizadores del estado nutricional del animal para activar la secreción de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH). Recientes investigaciones han demostrado que el tejido graso actúa como órgano endocrino al secretar ciertos factores que tiene influencia sobre la foliculogénesis (Ahima y Flier, 2000).

Para resaltar el efecto de la nutrición en la pubertad Yelich *et al.* (1995) observaron una reducción en el aporte de nutrientes trae como consecuencia retardo en la pubertad en novillas de carne, por otra parte se ha descrito que pérdidas de peso en los animales causa una baja en la condición corporal, la cual puede inhibir la secreción de hormona luteinizante (LH), reducción en la secreción de la IGF-1 y por lo tanto en la concentración de glucosa sanguínea. Asimismo, se incrementan la concentración de hormona del crecimiento (GH) y de los ácidos grasos no esterificados (NEFA), los cuales son indicativos de estados energéticos negativos y por lo tanto de lipólisis. Bergfeld *et al.* (1994) evaluaron la respuesta ovárica a la alimentación con dietas altas y bajas energía en novillas prepúberes, sus resultados indicaron que los animales que recibieron dieta baja en energía, mostraban folículos dominantes de menos diámetro que los animales con dietas altas, por otra parte observaron que los animales con dietas bajas retrasaron la presentación de la pubertad alrededor de 63 días en comparación con las novillas que se alimentaron con dietas altas en energía. Asimismo, Bossis *et al.* (1999) trabajando con 18 novillas Angus x Hereford demostraron que los animales a los que se les practicó una restricción alimenticia, se mostraban anovulatorias, además observaron que el diámetro folicular de los animales a los cuales se les practicó la restricción alimenticia era un 50% menor en comparación a los

diámetros foliculares que presentaron las novillas del grupo testigo, en adición, la concentración de LH, estradiol y la secreción de IGF-1 fue superior en las novillas del grupo testigo que en las del grupo con restricción, lo que demostró que estados con déficit nutricional pueden llegar a afectar el diámetro del folículo dominante y por ende la ovulación. Todo lo anterior sugiere que el estado nutricional del animal repercute directamente sobre la salud reproductiva del mismo. Asimismo se menciona que el anestro nutricional sucede cuando por lo menos el animal pierde el 20% de su peso corporal (Richards *et al.*, 1989). El efecto de la reducción del consumo de nutrientes sobre el funcionamiento reproductivo se produce a nivel hipotalámico, ya que se reduce la secreción de GnRH, resultando una disminución en la secreción pulsátil de LH y FSH, por lo tanto se ocasiona fallas en el crecimiento y maduración final de los folículos y en consecuencia de la ovulación. Por otra parte Stagg (2000) observó en novillas un descenso en la concentración de IGF-1 bajo un esquema de restricción alimenticia hasta provocar el anestro en los animales, posteriormente realimentó a las novillas y observó que las concentraciones plasmáticas de IGF-1 incrementaban linealmente, hasta alcanzar el reinicio de la actividad ovárica y posteriormente la ovulación, sus resultados sugieren que la IGF-1 es la encargada de regular en parte la actividad ovárica. (Figura 5)

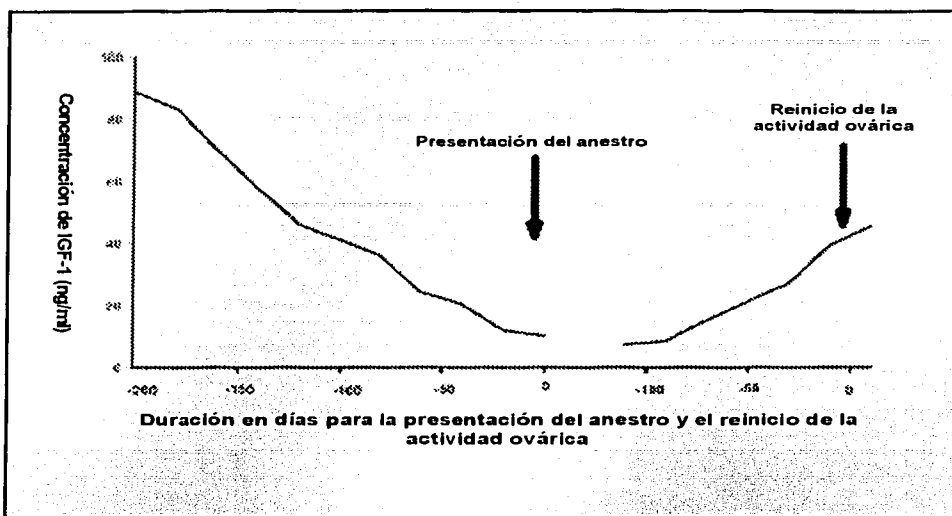


Figura 5. Concentraciones de IGF-1 en novillas sometidas a restricción alimenticia hasta el anestro y su subsiguiente alimentación hasta alcanzar la ovulación. (Diskin *et al.*, 2003)

Efectos nutricionales durante el posparto

Dentro de los principales factores por los cuales el ganado bovino retrasa el reinicio de la actividad ovárica seguida del parto se encuentran la edad del animal, raza, fin zootécnico, manejo, frecuencia del amamantamiento, época del año, enfermedades posteriores al parto, presencia del toro, condición corporal al momento del parto y el estado nutricional (Jolly *et al.*, 1995); así, numerosas investigaciones han puesto de manifiesto que el estado energético del animal pre y post- parto afectan el reinicio de la actividad ovárica. El estado energéticamente negativo que sufren las vacas posterior al parto repercute sobre la secreción de las gonadotropinas, especialmente en la secreción de LH (Rhodes *et al.*, 1996, Bossis *et al.*, 1999)

Existe evidencia suficiente que indica que las vacas antes del parto y después de este sufren una reducción en el consumo de alimento, por lo que la condición corporal se ve reducida, lo cual incrementa el intervalo entre partos. 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 post-parto.

Stagg *et al.* (1995) evaluando ultrasonográficamente la actividad ovárica de 24 vacas del parto hasta la primera ovulación, concluyeron 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 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 tales como las hormonas insulina, la disponibilidad de ciertos aminoácidos como la tirosina y el neuropéptido Y (McShane *et al.*, 1993). 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 (Figura 6).

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).

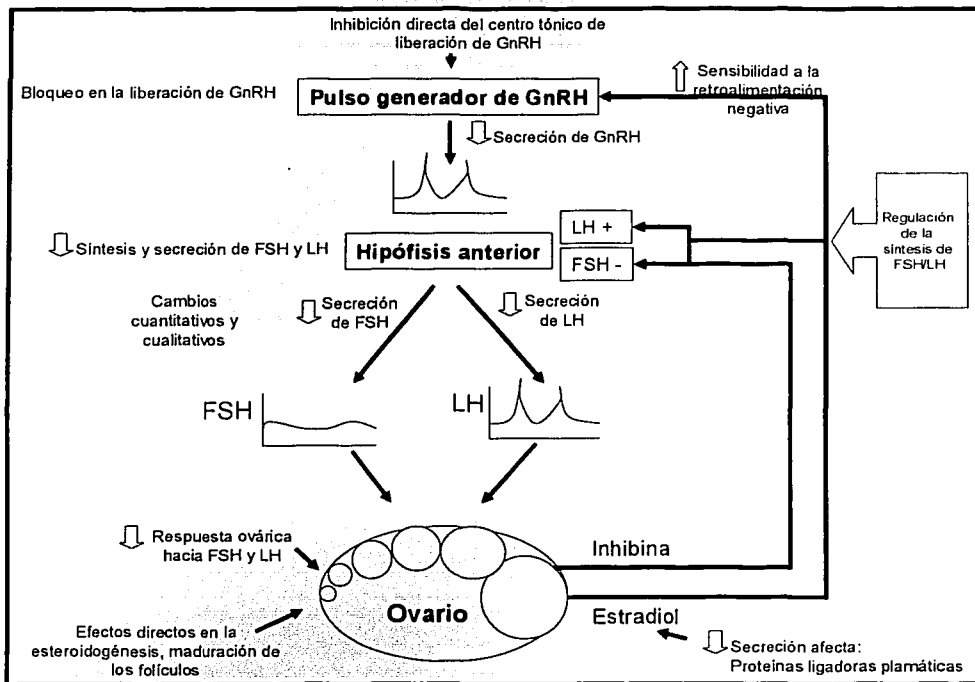


Figura 6. Mecanismo propuesto por Jolly *et al.* (1995) por el cual la nutrición afecta el anestro postparto.

2.3. TEJIDO GRASO COMO ÓRGANO ENDOCRINO Y SU RELACIÓN CON LA REPRODUCCIÓN

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.

Así Nürnberg *et al.* (1998) en una revisión de literatura, expone que los animales requieren cierta cantidad de ácidos grasos poli-insaturados (PUFA) que son esenciales para la vida y la salud, pero que no pueden ser sintetizados en el cuerpo, estos son los ácidos grasos esenciales. En el caso de los ruminantes los PUFA son ampliamente biohidrogenados a ácidos grasos saturados (86.6-95.3%) por los microorganismo ruminales (Doerau *et al.*, 1994), sin embargo Ashes *et al.* (1992) demostraron que los microorganismos ruminales son incapaces de hidrogenar el ácido eicosapentanoico y el ácido docosahexanoico, de esta manera la composición de los ácidos grasos en el animal pueden llegar a ser regulados por la dieta que se le esté suministrando al animal. Así Nürnberg *et al.* (1998) sugirieron que la deposición de tejido graso (almacenada en forma de triacilglicérolos) surge como el mantenimiento del balance energético entre el consumo de energía y el gasto de la misma. Asimismo exponen que la energía almacenada en el tejido adiposo representa cerca del 80 al 90% de la energía total del organismo, en adición, el tejido adiposo contiene 70 a 90% de grasa, 5 a 20% de agua y aproximadamente 5% de tejido conectivo.

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 posparto. 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 menores intervalos en comparación con aquellos que mantienen o incluso pierden puntuación en la condición corporal. Por otra parte, otra etapa en la cual la condición corporal juega un papel primordial en el inicio de la actividad ovárica es en la presentación de la pubertad, al respecto Galina y Arthur (1989) describen que los animales con mejores pesos y mejores puntuaciones de condición corporal tiene una mayor probabilidad de iniciar la actividad ovárica. Cavalieri y Fitzpatrick (1995) trabajaron con novillas Brahman, observaron que los animales que ganaban peso y presentaban una mejor condición corporal (escala de 1 a 9) tenían una mayor probabilidad de iniciar la actividad ovárica (Figura 7)

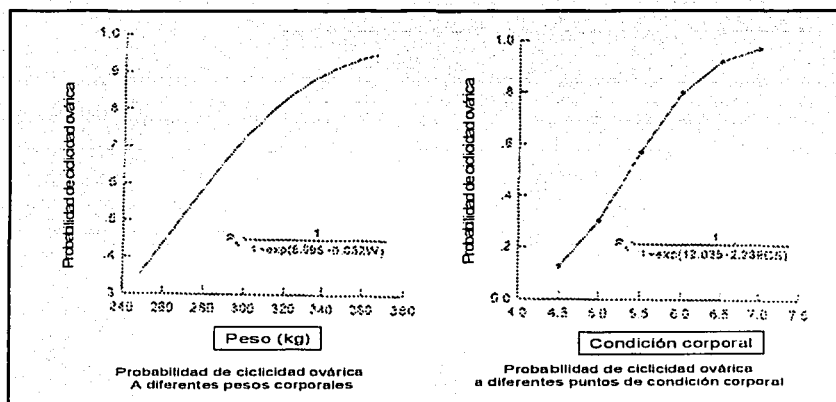


Figura 7. Probabilidad de actividad ovárica de acuerdo al peso y la puntuación de la condición corporal en novillas Brahman. (Cavalieri y Fitzpatrick, 1995)

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 empadre 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. Recientes investigaciones han tratado de demostrar el efecto del tejido graso en la reproducción, en adición se ha podido establecer que el tejido graso funciona como un órgano endocrino y por lo tanto secreta factores que influyen sobre el funcionamiento reproductivo, así Ahima y Flier, (2000) describen una serie de hormonas las cuales tiene diversos efectos sobre el metabolismo general del animal y algunas de ellas sobre la reproducción (Figura 8)

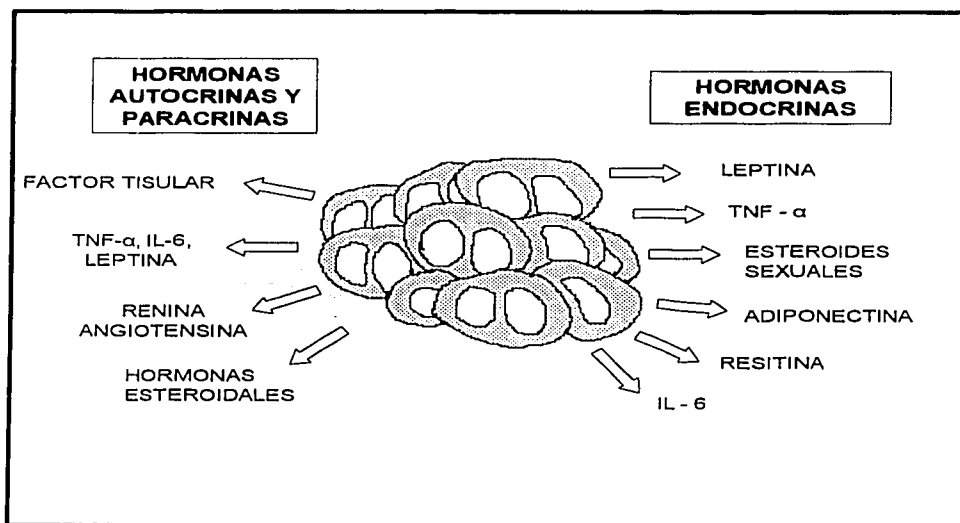


Figura 8. Factores hormonal secretados por el tejido graso. (Ahima y Flier, 2000)

Frühbeck *et al.* (2001) mencionan que los adipositos son capaces de secretar una gran cantidad de factores que sirven de retroalimentación para la regulación del metabolismo del tejido graso, de esta manera se describen varios grupos de factores entre los que tenemos las hormonas autocrinas – paracrinas y las hormonas endocrinas.

Leptina.

Dentro de las principales hormonas endocrinas secretadas por el tejido graso se encuentra la Leptina la cual fue descubierta por Zhang *et al.* (1994), es una proteína de 16 kDa, a esta hormona se le atribuyen numerosas funciones en el organismo y se han descrito importantes efectos sobre la reproducción. En el funcionamiento reproductivo la leptina afecta el eje neuroendocrino, en un principio se realizaron estudios en ratones genéticamente obesos, en los cuales observaron que los animales eran estériles, sin embargo con la administración de leptina los animales comenzaban a ser fértiles, observaron que el efecto de la leptina era a diversos niveles del eje, así describieron que las hembras presentaban aumento del peso en el útero y en el ovario, incremento en los niveles de LH plasmáticos y un mayor número de folículos primarios. En los machos tratados con leptina se observó que el tejido testicular y las vesículas seminales aumentaban de peso, incrementando en la producción de semen y en la concentración plasmática de FSH. A raíz de estos estudios se han desarrollado numerosas investigaciones con el fin de discernir el efecto de la leptina como posible eslabón entre el estado nutricional del animal y el funcionamiento reproductivo. Spicer (2001) expone las funciones de la leptina en diversas etapas del animal, en la pubertad se ha observado que ocurre un incremento en la síntesis de leptina, previo a la presentación de la pubertad, sin embargo aún no se conoce el mecanismo por el cual la leptina actúa a nivel cerebral. Por otra parte se han descrito funciones de esta hormona a nivel ovárico, ya que las células de la granulosa y de la teca

tienen receptores de alta afinidad hacia esta hormona, así Smith *et al.* (2002) sugieren que la acción de la leptina en estas células es la de inhibir directamente la esteroidogénesis, específicamente disminuyendo la producción de estradiol y la síntesis de progesterona mediada por insulina, esto demuestra que las altas concentraciones de leptina (en el caso de mujeres obesas) puede comprometer seriamente el funcionamiento reproductivo, al inhibir la esteroidogénesis y por lo tanto afectar el eje hipotálamo – hipófisis gonadal. En la Figura 9 se puede observar el efecto de la leptina en el sistema reproductivo de la hembra. (Spicer, 2001)

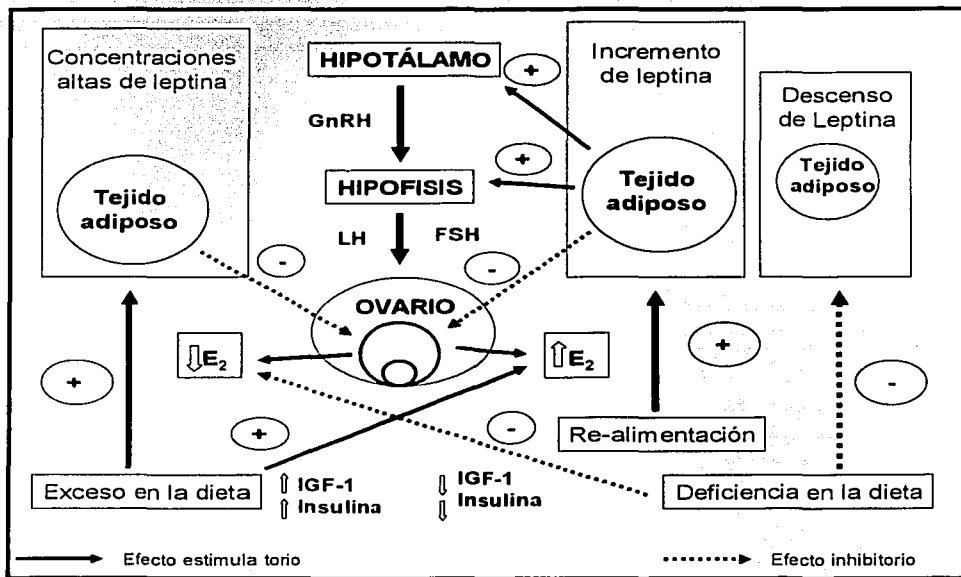


Figura 9. Efecto de la leptina sobre el funcionamiento reproductivo (Spicer, 2001).

Citokinas.

Las citokinas son definidas como proteínas solubles sintetizadas por células inmunes y no inmunes, las cuales median la comunicación intracelular a través de la transmisión de

información a células blanco por medio de receptores (Frühbeck *et al.*, 2001) dentro de este grupo existen dos factores que tiene algún efecto en el funcionamiento reproductivo, tal es el caso de la interleucina 6 (IL-6) y el factor de necrosis tumoral α (TNF- α).

Interleucina-6

La síntesis de interleucina – 6 está en relación con la masa corporal del animal, Frühbeck *et al.* (2001) sugieren que la IL-6 tiene diversas funciones en el organismo como la termorregulación, mediador en la liberación de la hormona corticotropina y efectos en el eje hipotálamo-hipofisiario; sin embargo su función principal en este último aún no ha sido establecida. Por otra parte se ha observado que la IL-6 suprime la síntesis de esteroides y progesterona en el ovario (*in vitro*) de ratas en proestro (Russell *et al.*, 2001).

Factor de Necrosis Tumoral- α

Esta hormona actúa como reguladora del metabolismo adiposo, ya que es un potente inhibidor de la diferenciación de preadipocitos y la lipogénesis (Frühbeck *et al.*, 2001) En adición, este factor ha sido relacionado con la inhibición de la liberación de LH en ratas (Russell *et al.*, 2001) y otro estudio llevado a cabo por Gottsch *et al.* (2000) observaron que el TNF- α está en contacto con la colagenólisis, es decir, que está implicada en la ovulación ya que los folículos ovulatorios poseen matriz colagenosa, observando que con la administración intrafolicular de un antisuero contra la TNF- α la ovulación se veía bloqueada. Sin embargo, aunque se conocen solo ciertas funciones de esta hormona, hace falta discernir el efecto de esta sobre otros sitios de interés reproductivo.

Hormonas esteroidales.

El tejido adiposo contiene dos enzimas relevantes en el metabolismo de los esteroides, la 17- β -hidroxiesteroide oxidoreductasa y la citocromo P-450 dependiente aromatasas. En la Figura 10 se puede observar los procesos por los cuales se sintetizan las hormonas

esteroideas, y se observa que la 17- β -hidroxiesteroide oxidoreductasa (17 β HSD) actúa en la conversión de androstenediona a testosterona y en la transformación de estrona a estradiol y viceversa (Frühbeck *et al.*, 2001). La citocromo P-450 dependiente aromatasas regula la conversión de de andrógenos a estrógenos.

Por otra parte, la producción de hormonas esteroideas en el tejido adiposo es un importante determinante de la distribución del tejido graso, por ejemplo, los estrógenos estimulan la adipogénesis en los senos y tejido subcutáneo de la mujer, en adición se ha observado que alteraciones en el balance de andrógenos y estrógenos pueden predisponer a desordenes reproductivos (Ahima y Fier, 2000)

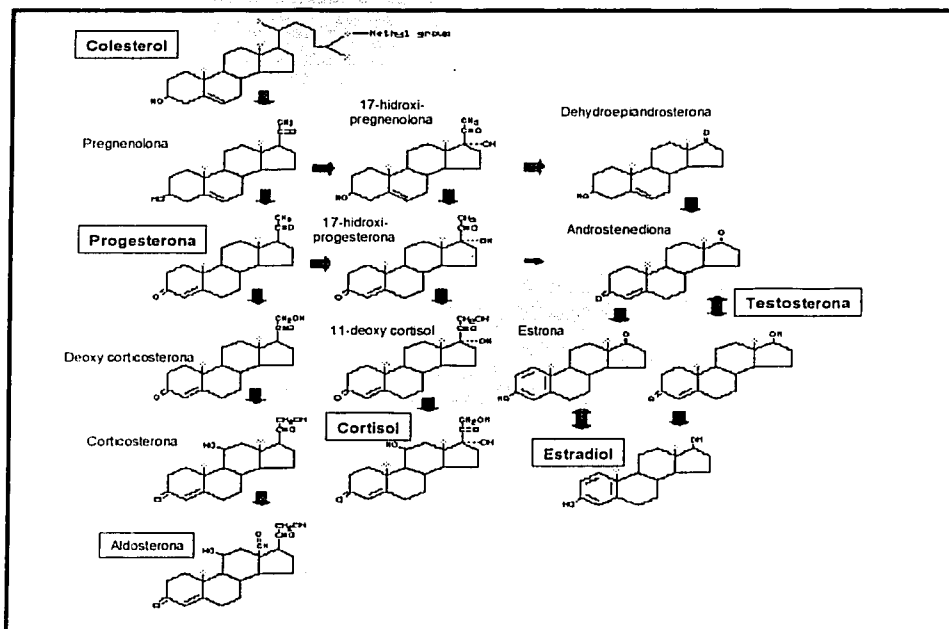


Figura 10. Mecanismos de síntesis de hormonas esteroideas a partir de colesterol.

Adiponectina.

Este factor lleva varios nombres, entre los cuales encontramos Acrp30, Edipo Q, GBP28 y apM1 (Ruiz-Cortés y Murphy, 2002) Se ha observado que se aumentan las concentraciones plasmáticas en respuesta a la insulina, y sus efectos son las de incrementar la sensibilidad de los tejidos periféricos a la insulina (Havel, 2002), por lo que tiene un efecto indirecto en la reproducción, ya que la insulina juega un papel primordial en la secreción de gonadotropinas y para los procesos de esteroidogénesis.

Resistina.

Al parecer este factor tiene la función opuesta de la adiponectina, ya que actúa aumentando la resistencia de los tejidos a la insulina, en adición, su expresión se encuentra regulada por la misma insulina (Ruiz-Cortés y Murphy, 2002). Las modificaciones de la resistencia de la insulina presentan diversas implicaciones, dada la importancia de la insulina en el funcionamiento reproductivo.

Finalmente, la cantidad de tejido graso y su producción endocrina reflejada en la condición corporal es de suma importancia en el desempeño reproductivo del animal, los mecanismos por los cuales el tejido graso actúa como señal metabólica para activar o inhibir los procesos reproductivos no se han esclarecido en su totalidad, sin embargo, con el desarrollo de nuevas investigaciones e irán dilucidando el efecto de las distintas hormonas sintetizadas y secretadas por el tejido graso así como el descubrimiento de nuevos factores de importancia biológica.

2.4. SUPLEMENTACIÓN DE LOS BOVINOS EN CONDICIONES DE PASTOREO

Los bovinos criados en condiciones tropicales y zonas áridas, generalmente presentan un comportamiento productivo limitado debido a las condiciones climáticas imperantes en esas zonas y al comportamiento productivo de los forrajes, así diversos estudios han puesto de manifiesto que en este tipo de climas el principal problema que limita la producción es la inadecuada nutrición (Stonaker, 1975). Sánchez y Soto (1999) en un estudio llevado a cabo en condiciones del trópico húmedo de Costa Rica sugieren que la producción de ganado de carne y leche se basa en el uso intensivo de pasturas y se caracteriza por un bajo rendimiento productivo. Por otra parte las fluctuaciones en el clima (época de secas y de lluvias) son otra de las causas por la cual los animales ven afectado su funcionamiento productivo (Villarreal *et al.*, 2000) Al respecto existe evidencia del efecto de la época del año y las condiciones tanto en la calidad y la cantidad del forraje sobre el desempeño productivo de los bovinos criados en condiciones tropicales, así Kinder *et al.* (1997) trabajaron con vacas Brahman y Hereford-Shorthorn, bajo dos sistemas de pastoreo: alta densidad (GI) y baja densidad (LI), demostraron que independientemente de la intensidad del pastoreo, los animales en época de invierno-primavera presentan menores pesos en comparación con los presentados durante el verano-otoño, indicando que existe estacionalidad de los pastos y que en épocas de baja disponibilidad de agua los forrajes presentan menor cantidad y calidad, lo que repercute directamente en el consumo del animal y en el comportamiento productivo.

Mendoza (1996) menciona que los forrajes presentan deficiencias tanto cuantitativas como cualitativas, las primeras están dadas por cambios en la digestibilidad y en el contenido de nutrientes específicos como nitrógeno, lo que trae como consecuencia un consumo limitado

por parte de las vacas, mientras que las deficiencias cuantitativas se presentan por un descenso en la disponibilidad de la materia seca total, por baja producción, por carga excesiva, época del año, capacidad de carga, así como otras características como lo son las condiciones climáticas, topografía y disponibilidad de agua. Todos estos factores hacen que el animal que se encuentra bajo condiciones de pastoreo sufra retrasos en los procesos de crecimiento y madurez, los forrajes a su vez presentan variaciones temporales en su producción, las cuales pueden ser estacionales o anuales, afectando la disponibilidad de la materia seca, la composición botánica y finalmente la cantidad y calidad del paso.

Así, con el fin de prevenir dichos problemas, se han puesto en práctica diversas estrategias como la suplementación en épocas críticas del año como lo son las épocas pre-empadre y épocas de nacimientos (Peiris *et al.*, 1995). El objetivo primordial de la aplicación de programas 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.

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, se han aplicado fertilizantes a los pastos con el fin de mejorar la producción de forraje. Asimismo, se han administrado suplementos energéticos tales como aceites, suplementos proteicos como el uso de granos, administración de urea, suplementos minerales, y el uso de forrajes como bancos de proteína (Kennedy *et al.*, 2002). A su vez, Aranda *et al.* (2001) suplementaron 32 novillas con caña de azúcar con y sin urea (1%) y con un suplemento proteínico a razón de 3% del peso vivo, observando que los animales alimentados con el suplemento proteico

presentaron las mejores ganancias diarias de peso comparados con los otros tratamientos (grupo testigo, caña de azúcar sin urea y caña de azúcar con urea). 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 novillonas 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). Por otra parte, 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 presentaron 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) en el que 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.

Ørskov (1999) menciona que para la implementación de un programa de suplementación hay que tener en cuenta diversos factores, entre los cuales encontramos que algunos suplemento interfieren con la digestión basal del forraje, es decir que las bacterias

ruminales celulolíticas funcionan a un nivel de pH superior a 6.2, sin embargo algunos suplementos causan un descenso en el nivel de pH ruminal, por lo que el crecimiento de las bacterias celulolíticas y los protozoarios se ve afectada. En general se deben tener en cuenta que los suplementos pueden afectar la utilización y el consumo del forraje, a través del proceso por el cual fue manufacturado el suplemento, el manejo de la suplementación, frecuencia de alimentado y el tipo y cantidad del mismo. Por otra parte el uso de suplementos está enfocado a proveer aquellos nutrientes que el forraje no está satisfaciendo, incrementar el consumo y la digestión del alimento. Otro factor de importancia a tomar en cuenta, es que los suplementos deben proporcionar fibra fácilmente digestible, que permita incrementar la tasa de digestión y el consumo del forraje. Además, propiciar el aumento en la producción de proteína de origen microbiano, así como de proveer proteína no degradable y finalmente los suplementos deben constituir una fuente de energía para el animal.

El éxito en los programas de suplementación animal dependen de muchos factores, tanto del animal, la planta, las bacterias ruminales, las condiciones climáticas, las características del suelo y del propio suplemento (Mendoza, 1996) en la medida que se entiendan estos factores los programas de suplementación podrán influir en la economía y en la productividad de los animales.

2.5. MODELOS DE SIMULACIÓN PARA LA PREDICCIÓN DE LA RESPUESTA ANIMAL

Los modelos de simulación por computadora han sido utilizados como ayuda para la toma de decisiones cuando la investigación es costosa o bien cuando es de larga duración. Esta metodología permite reducir el costo de los programas aplicados en materia pecuaria ayudando a estimar la respuesta animal a los diferentes programas de alimentación a los cuales son sometidos (Johnson *et al.*, 1987)

Los productos pecuarios contribuyen significativamente a la alimentación animal, así la importancia de los rumiantes debido a que estos animales convierten material vegetal en proteína de alta calidad para la alimentación del humano. Las fuentes vegetales que los rumiantes transforman en carne, leche y otros productos incluyen forrajes, ensilados, cultivos y sus residuos, cereales, residuos de cultivos, y desechos de la industrialización de algunas frutas y plantas (France *et al.*, 1998) El éxito en la implantación de los programas de suplementación es el correcto entendimiento de las distintas relaciones existentes entre el animal, la planta, los microorganismos ruminales, las condiciones climáticas, las condiciones del suelo y del propio suplemento y de la digestión y metabolismo ruminal (Mendoza, 1996; France *et al.*, 1997) Los métodos matemáticos han sido utilizados a través del tiempo como una forma de resolver problemas, así recientemente se ha utilizado como una herramienta valiosa en el estudio de la nutrición aplicada a los rumiantes (France *et al.*, 1997)

Existen una gran variedad de modelos de simulación que permiten estimar la respuesta del animal a diversas condiciones tanto alimenticias como ambientales, así como modelos que simulan la digestión, absorción y tasa de pasaje de los nutrientes en el rumen (Dijkstra *et*

al., 1992; Neal *et al.*, 1992). Estos modelos simulan la condición corporal y el crecimiento (Fox y Black, 1984) digestión de nutrientes tanto de forrajes y de concentrados (Weiss *et al.*, 1992), y permiten simular el crecimiento de animales desde el destete hasta el punto de venta de mercado incluyendo la composición de la canal (Williams *et al.*, 1995^a y 1995^b). Finalmente, otros modelos evalúan las condiciones ambientales sobre el consumo de forraje (Johnson *et al.*, 1987).

El modelo utilizado por el Consejo Nacional de Investigación (NRC) de los Estados Unidos (1996) tiene varios propósitos como es el maximizar el manejo y aprovechamiento de los nutrientes a través de la alimentación animal, predecir los requerimientos del animal de acuerdo a su estado fisiológico, raza, edad, condiciones climáticas e ingredientes de la dieta. Asimismo, nos permite evitar pérdidas en el desaprovechamiento de nutrientes y reducir la excreción de residuos contaminantes al ambiente como lo son el metano, nitrógeno, cobre y fósforo.

El modelo presenta dos niveles, el primero es utilizado para predecir los requerimientos de energía y proteína para la producción con base a los ingredientes de la dieta. Cuando existe información limitada en la composición de los alimentos se utiliza el nivel 1 del programa, o bien cuando el usuario no está familiarizado con el llenado de los datos, interpretación y aplicación del nivel 2. Asimismo, el nivel 2 del programa fue designado para obtener información adicional acerca de la utilización de los carbohidratos y proteínas a nivel ruminal, así como la suplementación de amino ácidos y sus requerimientos. Este nivel permite predecir el crecimiento microbiano con base a la alimentación con carbohidratos, fracciones proteicas y tasas de pasaje. Para ambos niveles del programa los requerimientos se subdividen en cuatro secciones principalmente: mantenimiento, crecimiento, lactación y preñez.

Así, se calculan las necesidades de mantenimiento ajustando la base de energía neta de mantenimiento (EN_m) para la raza, estado fisiológico, actividad, pérdida de calor contra el de producción. Estas variables son calculadas por medio del consumo de energía metabolizable (EM) menos la energía retenida.

Los requerimientos de crecimiento son calculados por medio de la utilización de valores del peso corporal, ganancia de peso, condición corporal y tamaño relativo del animal. La sección de lactación es calculada utilizando la edad del animal, tiempo al pico de lactación, producción de leche, día y duración de la lactación, composición de grasa en la leche, sólidos no grasos totales de la leche y composición proteica de la leche. Los requerimientos de gestación son estimados por medio del peso al nacimiento del ternero y la etapa de la gestación expresada en días.

El programa de cómputo NRC (1996) ha sido evaluado en condiciones de corrales de engorda, en los cuales presenta estimaciones en forma adecuada, al respecto está el trabajo realizado por Block *et al.* (2001) en el que evaluaron el modelo NRC tanto en el nivel 1 como en el 2 utilizando animales criados en 24 corrales de engorda bajo condiciones del oeste de Canadá, las variables que evaluaron fue la ganancia diaria de peso y el consumo de materia seca, sus resultados demuestran que el modelo predice en forma adecuada el consumo de materia seca, sin embargo la ganancia diaria de peso fue sobreestimada.

Sin embargo en condiciones de pastoreo se han hecho pocas validaciones del modelo NRC (1996) tal es el caso del trabajo realizado por Zwart (1999) que evaluó 24 toretes en el trópico húmedo, estos fueron divididos en cuatro tratamientos (T1= Pastoreo + suplemento con proteína, T2= Pastoreo + suplemento con grasa protegida, T3= Pastoreo + suplemento con urea y T4= Pastoreo), sus resultados sugieren que el modelo sobrestima las ganancias diarias de peso, en cuanto a la predicción del consumo estimado. Hasta el momento no se

ha hecho mayor número de validaciones en animales criados en sistemas de pastoreo en condiciones tropicales, por lo que es necesario realizar investigaciones al respecto con el fin de determinar si el modelo NRC (1996) es viable para su uso en bovinos criados en condiciones tropicales bajo programas de suplementación.

III. EXPERIMENTOS

3.1. Experimento 1.

EFFECTO DE LA SUPLEMENTACIÓN ALIMENTICIA EN LOS PARÁMETROS REPRODUCTIVOS S Y PRODUCTIVOS DE NOVILLAS EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE COSTA RICA.

Maquivar M¹, Galina C. S.¹, Verduzco A¹, Galindo J², Molina R², Estrada S.³

¹ Departamento de Reproducción. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF.

² Escuela de Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica. San Carlos, Alajuela, Costa Rica.

³ Salud de Hato. Escuela de Medicina Veterinaria. Universidad Nacional de Costa Rica.

RESUMEN.

Con el fin de determinar el efecto de la suplementación sobre la ganancia diaria de peso, condición corporal y el desempeño reproductivo evaluado mediante la dinámica folicular, respuesta a la sincronización y tasa final de gestaciones se realizaron dos experimentos. Se utilizaron 75 hembras bovinas (*Bos taurus* x *Bos indicus*) con un rango de edad de 24 a 36 meses. El primer experimento fue constituido por 30 animales con un peso inicial de 325.1 ± 33.6 kg, divididas en dos grupos de 15 animales cada uno el grupo suplementado (GS) recibió un suplemento comercial (Citrocom® Casa Dos Pinos, Costa Rica 5.5% PC, 2.85 Mcal ED) a razón de 1% del peso vivo, en el segundo experimento comprendió la utilización de 45 novillas con un peso inicial de 332.69 ± 29.36 kg, divididas aleatoriamente en dos grupos, 22 animales en el grupo suplementado (GSb) el cual fue suplementado con alimento comercial (Citrocarne® Casa Dos Pinos, Costa Rica, 13% PC, 3.15 Mcal ED) y 23 en el grupo no suplementado (GNSb). Se pudo observar que en ambos experimentos la proporción de animales que mostraron un cuerpo lúteo al final del experimento fue superior en los grupos suplementados ($P < 0.05$), la dinámica folicular de los animales fue similar en el experimento 1, sin embargo en el experimento 2 los animales

del grupo suplementado presentaron una mayor proporción de folículos superiores a los 9 mm de diámetro ($P < 0.05$) La tasa final de gestación fue similar para los GS con respecto a los GNS ($P > 0.05$). La respuesta a la sincronización en el experimento 1 fue superior en el GS ($P < 0.05$) y en el segundo estudio fue similar ($P > 0.05$). Por otra parte no se observaron diferencias en cuanto a la duración e intensidad del estro mostrado en los grupos experimentales. Finalmente la ganancia diaria de peso y la condición corporal de los grupos experimentales fue similar en el estudio 1, en contraste con el experimento 2 en el cual el GS mostró una mayor ganancia de peso ($P < 0.05$). En base a las condiciones del presente estudio podemos concluir que la suplementación alimenticia mejora los porcentajes de animales con cuerpo lúteo, no así en la tasa final de preñez, sin embargo se observó que la respuesta en los parámetros productivos como la ganancia diaria de peso y la condición corporal presenta resultados muy variables.

Palabras clave: *Bos indicus*, alimentación, ciclicidad, ganancia de peso, condición corporal

ABSTRACT.

Effect of the nutritional supplementation on reproductive and productive parameters of beef heifers in the humid tropic of Costa Rica.

The aim of this study was to determine the effect of the supplementation on the daily weight gain, body condition score and the reproductive performance evaluated by follicular dynamics, synchronization response and the pregnancy rate. For this purpose two experiments were done. Seventy five heifers (*Bos indicus* x *Bos taurus*) were used, averaging between 24 to 36 months of age. In the first experiment 30 animals were used with an initial weight of 325.1 ± 33.6 kg, divided in two groups of 15 heifers each. The supplemented group (GS) received commercial concentrate to the ratio of 1% of live weight (5.5% PC, 2.85 Mcal ED), in the second experiment forty five animals were used,

having an initial weight of 332.69 ± 29.36 kg. Twenty two in the supplemented group (GSb) received a commercial concentrate to the ratio of 1% of live weight (13% PC, 3.15 Mcal ED) and twenty three in the control group (GNSb). The proportion of animals which showed a corpus luteum at the end of the study was superior in the supplemented groups ($P < 0.05$). Follicular dynamics was similar between groups for the first experiment, in contrast, the second trial GSb had a higher proportion of heifers showing follicles above 9 mm in diameter ($P < 0.05$). Pregnancy rate was similar for GS and GNS ($P > 0.05$). The response to synchronization in the first trial was superior in the GS group ($P < 0.05$) and the second study was similar ($P < 0.05$). In both experiment no differences were observed in the length and the intensity of oestrous. Daily weight gain and body condition score showed similar values in the first study, in contrast the second trial the GSb had a higher weight than the GNSb ($P > 0.05$). Nutritional supplementation improved performance in cycling animals but not the final pregnancy rate. Daily weight gain and body condition showed variable results.

KEY WORDS: Bos indicus, feeding system, cyclicity, weight gain, corporal condition.

3.1.1. INTRODUCCIÓN.

En las áreas tropicales el desarrollo de animales de reemplazo presenta diversas limitantes, entre ellas los aspectos nutricionales y reproductivos, en virtud de las bajas ganancias de peso que experimentan los animales en el período posdestete, con el consiguiente retardo en los procesos de crecimiento y madurez fisiológica (Plasse 1978, 1979, Mukassa-Mugerwa, 1989).

Para solucionar dicha problemática se ha intentado suplementar a los animales mantenidos en condiciones de pastoreo, con el objeto de proveer aquellos nutrientes que el forraje no aporta en cantidad suficiente (Riquelme, 1987)

La respuesta a animal a la suplementación está en función de diversos factores, entre los cuales se encuentra la disponibilidad del forraje, el tipo y la cantidad de suplemento y efectos asociativos entre el forraje y el suplemento (Mendoza y Ricalde, 1996)

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. Por otra parte, Cavaliere y Fitzpatrick (1995) evaluaron el efecto de la condición corporal, estado ovárico y régimen de inseminación artificial en las tasas finales de preñez, sus resultados indicaron que las novillas que presentan mejor condición corporal y mayor peso, tienen mayor probabilidad de ciclar y por ende de quedar preñadas.

En diversos estudios se ha mencionado el efecto que juega la nutrición sobre la reproducción, así Murphy *et al.* (1991) mencionaron que una baja en el consumo de la dieta reduce el diámetro y la persistencia del folículo dominante. Stevenson *et al.* (1997), señalaron que debido a un balance energético negativo existe una baja expresión del estro y pobres resultados en programas de sincronización, asociados con el inconsistente crecimiento y maduración de los folículos. Por lo tanto los objetivos del presente trabajo fueron determinar el efecto de la suplementación alimenticia en novillas sobre la ganancia diaria de peso (GDP), condición corporal (CC), actividad ovárica, respuesta a la

sincronización medida por la expresión e intensidad del celo y finalmente el índice de gestación.

3.1.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente experimento se llevó a cabo en la finca “La Balsa” perteneciente al Instituto Tecnológico de Costa Rica, ubicada en San Ramón, provincia de Alajuela, a una altura de 172 metros sobre el nivel del mar, el clima de la región es del tipo tropical húmedo, teniendo una precipitación anual de 3062 mm, y una temperatura promedio de 27.3° C y una humedad relativa de 85.3%.

Animales

Se utilizaron 75 hembras bovinas (*Bos taurus* x *Bos indicus*) con un rango de edad de 24 a 36 meses. El experimento fue hecho en dos años. El primer experimento fue constituido por 30 animales con un peso inicial de 325.1 ± 33.6 kg, estas a su vez fueron divididas en 2 grupos de 15 animales designadas aleatoriamente en el año 2000. El primer grupo fue sometido a un programa de suplementación (GS) mediante un concentrado alimenticio (Citrocom® Casa Dos Pinos, Costa Rica 5.5% PC, 2.85 Mcal ED), a razón de 1 % del peso vivo, además de la adición de sales minerales (Ganafos Plus® Piensos S.A., Costa Rica,) el grupo que no fue suplementado (GNS) se le suministró solamente sales minerales. El segundo experimento, realizado en el año 2001 se utilizaron 45 novillas con un peso inicial de 332.69 ± 29.36 kg, divididas aleatoriamente en dos grupos, 22 animales en el grupo suplementado (GSb) y 23 en el grupo no suplementado (GNSb). Al GSb se le suministró concentrado (Citrocarne® Casa Dos Pinos, Costa Rica, 13% PC, 3.15 Mcal ED) a razón de 1 % del peso vivo además de sales minerales, al GNSb se le administró solamente minerales (Ganafos Plus® Piensos S.A., Costa Rica).

Los animales fueron mantenidos en 8 potreros a base de Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*), Candelario (*Pennisetum purpureum*) y Ratana (*Ischaemum indicum*), los potreros eran utilizados por 3 días en promedio y 21 días de reposo.

Fases Experimentales

Para el presente estudio se dividió en tres fases:

1. Fase de Selección (FS) Esta fase (30 días) comprendió evaluaciones ultrasonográficas, pesajes y determinaciones de la condición corporal.

2. Fase de Adaptación y Suplementación (FAS). Los animales fueron acondicionados al manejo durante la investigación, además se tomaron datos de condición corporal y peso de los animales así como evaluaciones ultrasonográficas y muestreos sanguíneos para la determinación de la progesterona y de esta manera determinar el estado reproductivo de los animales. Esta fase tuvo una duración de 15 días. La fase de Suplementación comprendió el suministro del alimento a los animales por 30 días diariamente, además de las evaluaciones ultrasonográficas, de peso, condición corporal y los muestreos sanguíneos.

3. Fase de Sincronización (FCR). En esta fase los animales fueron sincronizados 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 observó continuamente a los animales por 56 horas, a fin de detectar el estro. Los animales fueron inseminados al estro posterior al sincronizado.

Evaluación Ultrasonográfica

Con el fin de evaluar la actividad ovárica de los animales se realizaron mediciones a lo largo del experimento 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 medía el diámetro del folículo dominante al momento de la evaluación.

Muestreo Sanguíneo

Se tomaron muestras sanguíneas de los animales dos veces por semana, por punción de la vena o arteria coccígea, con el fin de determinar los valores circulantes en sangre de progesterona con una frecuencia de dos veces por semana desde el inicio del experimento hasta finalizado este. Las muestras fueron centrifugadas a 7000 rpm por minuto, etiquetadas con número del animal y fecha y congeladas a -20°C para su posterior procesamiento. Los valores séricos de progesterona fueron analizados por medio de la técnica de Radioinmunoanálisis en fase sólida (Pulido *et al.*, 1991)

Parámetros Reproductivos

Los parámetros reproductivos evaluados fueron los diámetros foliculares de los animales, porcentaje de ciclicidad de los animales (corroborado por los valores séricos de progesterona, en los cuales se consideraba que una novilla se encontraba ciclando si presentaba tres valores de progesterona superiores a 1 ng/ml) además de la respuesta a la sincronización, intensidad del celo e índice de gestación total de los animales.

Parámetros Productivos

Los parámetros productivos evaluados en el presente trabajo fueron la Ganancia Diaria de Peso (GDP), Condición Corporal (CC) determinada en una escala de 1 a 5 (donde 1= emaciado y 5= obeso). Se realizaron pesajes de los animales cada 15 días a lo largo del experimento, al igual que la condición corporal de todos los animales.

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 al diámetro folicular presentado en las distintas etapas se realizó una aproximación Z para comparar dos proporciones independientes (Dawson-Sanders y Trapp, 1997). El porcentaje final de gestaciones se analizó mediante un prueba de Chi- cuadrada. Los promedios de comportamiento así como la duración del estro fueron evaluados mediante un análisis simple aleatorizado. Los resultados de cambio de peso fueron analizados mediante un diseño completamente aleatorizado usando el peso inicial como covariable (Steel y Torrie, 1980).

3.1.3. RESULTADOS.

Experimento 1.

Durante la fase de selección los animales que mostraron valores sanguíneos de progesterona indicativos de plena funcionalidad del cuerpo lúteo en el GS fue del 23%, en el GNS la proporción de animales con cuerpo lúteo fue de 28.5% ($P>0.05$). Así durante la fase de adaptación y suplementación el porcentaje de ciclicidad en el GS incrementó a 36.9% mientras que en el GNS el número de novillas que se encontraban ciclando fue de 25.1% ($P>0.05$). Se pudo observar que el porcentaje de animales que ciclaron durante la fase de sincronización (posterior al retiro del implante) fue superior para el GS (66.7%), con respecto al GNS 26.7% ($P<0.05$).

En la figura 11 se muestran los resultados ultrasonográficos del GS, en el cual se puede observar que durante la fase de selección 41.2% de las novillas mostraban folículos menores a los 3 mm, 26.7% revelaban principalmente folículos de 3 a 9 mm, mientras solamente 8.5% novillas exponían folículos mayores a los 9 mm, así se observa la transición que sufrieron los animales que presentaban folículos menores a los 3 mm, ya que

en la fase de adaptación y suplementación ocurre que de un 41.2% de las novillas que tenían folículos menores de 3mm al empezar el estudio para esta fase solamente el 6.7% de las novillas se mantuvieron con ese estado ovárico, 35.9% de los animales mostraron diámetros foliculares entre los 3 a 9 mm y el 20% de las novillas folículos superiores a los 9 mm. Por otra parte durante la fase de sincronización se puede observar que el 6.7% se presentaron novillas con ovarios con folículos menores a los 3 mm, 20% presentaban folículos entre los 3 y 9 mm, 6.7% folículos mayor a los 9 mm posiblemente por ser los animales que todavía no tenían la oportunidad de ovular y el resto de los animales ya se encontraban ciclando (66.7%)

En lo que respecta al grupo no suplementado se observó que 30.3% de los animales se encontraban con folículos menores a los 3 mm, 37% mostraban folículos entre los 3 y 9 mm, mientras que solamente el 4% presentaban folículos superiores a los 9 mm. Para la etapa de adaptación y suplementación el porcentaje de novillas con folículos menores a 3 mm se redujo a 8.7%, se incrementó el porcentaje de animales con folículos de 3 a 9 mm a 27.7% y el 38.5% presentaban folículos mayores a los 9 mm. Finalmente durante la fase de sincronización se observa que el 13.3% de los animales presentaban folículos menores a los 3mm, 33.3% folículos de 3 a 9 mm y 26.7% folículos mayores a los 9 mm. La diferencia en la población folicular entre el GS y GNS se debe posiblemente a que el primer grupo tuvo una respuesta más temprana en cuanto a ciclicidad y solamente las hembras que no ciclaron son la población que se puede comparar con el GNS.

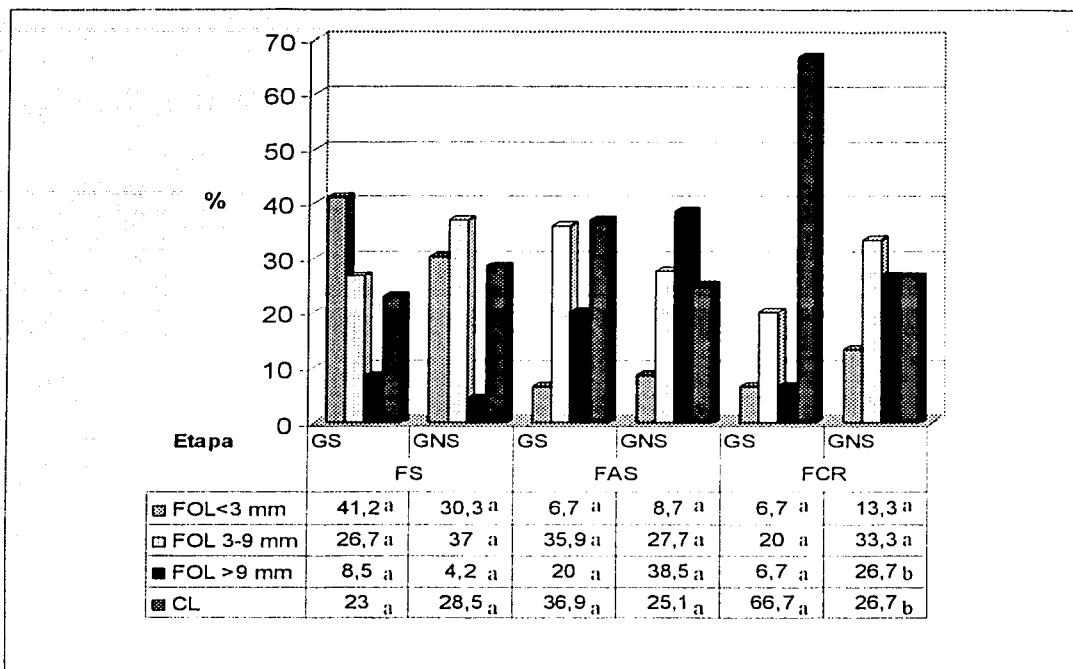


Figura 11. Dinámica folicular de los grupos experimentales a lo largo de las distintas etapas del experimento. (GS) Grupo suplementado, (GNS) Grupo no suplementado, (FS) Fase de selección, (FAS) Fase de adaptación y suplementación, (FCR) Fase de sincronización.

Proporción de fila con literal diferente dentro de la fase difieren $P < 0.05$

En el Cuadro 1 se puede observar la respuesta a la sincronización en el que el 73.3% de los animales del grupo no suplementado respondió a la sincronización, mientras que en el grupo suplementado el 100% de los animales mostraron actividad sexual ($P < 0.05$), por otra parte se observó que en el grupo suplementado se presentó la mayor proporción de animales que exhibieron conducta sexual acompañada de ovulación ($P < 0.05$). La presentación del estro pos retiro del implante fue similar para ambos grupos ($P > 0.05$). Asimismo, no se observaron diferencias ($P > 0.05$) en el promedio de horas en estro, actividades sexuales y actividades de cortejo.

*Cuadro 1. Respuesta a la sincronización del estro.
Fila con literal diferente difieren P: 0.05*

	GS	GNS
Animales en estro	100.0% ^a (15/15)	73.3% ^b (11/15)
Estro acompañado de ovulación	66.6% ^a (10/15)	36.6% ^b (4/11)
Presentación estro pos retiro implante (Hr)	28.3 ^a	29.3 ^a
Promedio de horas en estro	17.53 ^a	17.03 ^a
Promedio de Actividades sexuales por novilla (monta e intentos de monta)	22.77 ^a	24.87 ^a
Promedio de actividades de cortejo por novilla (topeteo, apoyo, olfateo, lamido genitales, flehmen, seguimiento)	2.82 ^a	3.46 ^a

Por otra parte la tasa final de gestaciones para el GS fue del 60% (9/15) mientras que para el GNS fue del 47% (7/15), a pesar de haber diferencias numéricas estas no son significativas ($P > 0.05$).

Por último se observó que los pesos de ambos grupos, así como la condición corporal promedio de los animales presentaron valores similares, el GS al inicio del experimento presentaba un peso promedio de 322.6 ± 25.6 kg y una condición corporal de 2.6, así para el grupo no suplementado el promedio de peso al inicio del experimento fue de 327.5 ± 38.9 kg y una condición corporal promedio de 2.8. Al final del experimento se puede observar que para el GS el peso final fue de 365.3 ± 24.4 kg y una condición corporal promedio de 2.9, mientras que para el GNS fue de 367.5 ± 31.7 kg y un promedio de condición corporal de 3.0. En cuanto a la ganancia diaria de peso los animales del GS ganaron en promedio 0.27 kg al día, mientras que las novillas del GNS la ganancia diaria de peso fue negativa (-0.05 kg).

En la Figura 12 se hace la comparación entre el GS y el GNS en cuanto al peso promedio y condición corporal de los animales.

Experimento 2.

En la Figura 13 el porcentaje de animales ciclando durante las distintas etapas de la investigación para ambos grupos, se observa que durante la etapa de selección fue similar la proporción de animales con cuerpo lúteo, así 12.7% del grupo suplementado se encontraban ciclando y el grupo no suplementado el 4.3% se encontraban ciclando. Así para la etapa de adaptación y suplementación ocurrió el mismo caso, no se observaron diferencias ($P>0.05$), 17.9% de los animales que recibían alimento presentaron un cuerpo lúteo funcional, mientras que en el grupo no suplementado el 20.2% mostraron un cuerpo lúteo funcional. Finalmente en la etapa de sincronización se presenta un aumento en el número de animales ciclando en el grupo suplementado, ya que más de la mitad de ellas se encontraba con cuerpo lúteo, mientras que para el GNSb la proporción de animales ciclando se aumentó a 41.3% ($P<0.05$).

En la figura 13 se puede observar la dinámica folicular de los animales a lo largo del experimento, durante la primera fase de selección los animales del grupo suplementado el 7.3% mostraban folículos menores a los 3 mm, 28.2% folículos entre los 3 y 9 mm y 51.8% mayores a los 9 mm. Para la fase de adaptación y suplementación, en el GSb la proporción de novillas con folículos menores a los 3 mm fue 5.6%, asimismo el porcentaje de animales con folículos entre los 3 y 9 mm fue de 21.4% y la proporción de animales con folículos mayores a los 9 mm fue de 55.2%, el cual fue superior al porcentaje mostrado por el GNSb ($P<0.05$). Finalmente durante la etapa de sincronización, solamente 2.3% de las novillas presentaban folículos menores los 3 mm, 13.6% folículos entre los 3 y 9 mm y la proporción de novillas que presentaron folículos superiores a los 9 mm fue de 31.8%, en

consecuencia la proporción de animales con cuerpo lúteo fue superior al 50%. En el grupo no suplementado el 7% de los animales mostraban folículos menores a los 3 mm, 46.1% folículos entre los 3 y 9 mm y el 42.6% folículos superiores a los 9 mm. Para la etapa de adaptación y suplementación la proporción de novillas con folículos menores a los 3 mm disminuyó con respecto a la anterior etapa, asimismo el porcentaje de animales con folículos de 3 a 9 mm fue de 34.2% y superiores a los 9 mm de 39.8%. Finalmente durante la fase de sincronización solamente el 2.3% de las novillas presentaban folículos menores a los 3 mm, el 30.4% folículos entre los 3 y 9 mm, 26.1% folículos superiores a los 9 mm. Al final de esta última etapa se los animales del grupo suplementado presentaron una mayor tasa ovulación que los animales del grupo no suplementado ($P < 0.05$).

La tasa final de gestación fue similar para ambos grupos ($P > 0.05$), ya que para el GSB fue de 59% (13/22) y para el GNSb fue de 48% (11/23).

En el Cuadro 2 se observa la respuesta a la sincronización por parte de las novillas, se observa que para ambos grupos la respuesta fue mayor al 90%, en adición ambos grupos presentan porcentajes similares de estros acompañados de ovulación ($P > 0.05$). Por otra parte se observa que los animales del grupo suplementado presentaron una mayor duración del estro ($P < 0.10$) sin embargo en cuanto a la intensidad del estro no se observó diferencias con respecto al grupo no suplementado. Asimismo se presenta que el grupo suplementado muestra actividad sexual más rápido que el grupo no suplementado ($P < 0.08$).

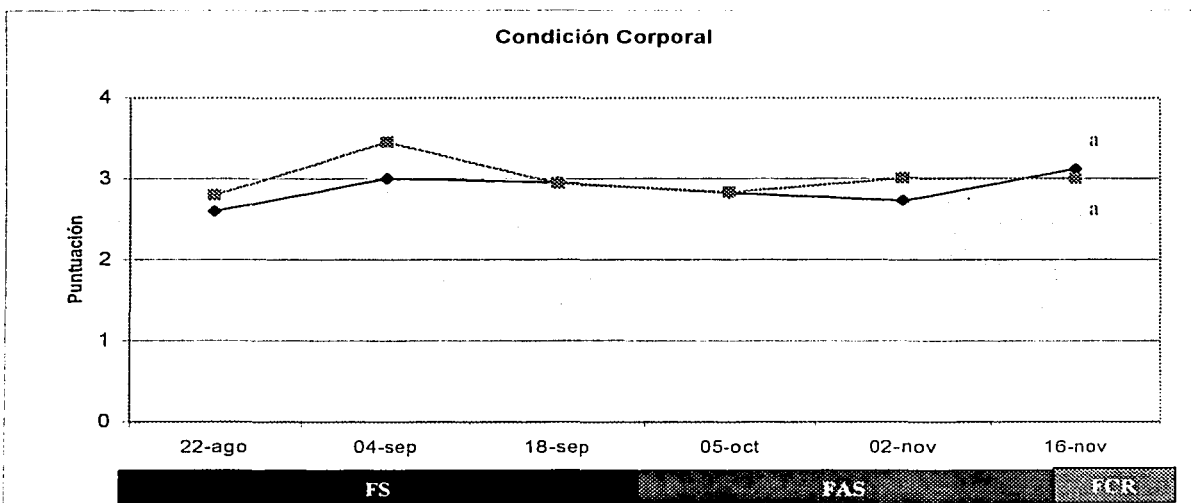
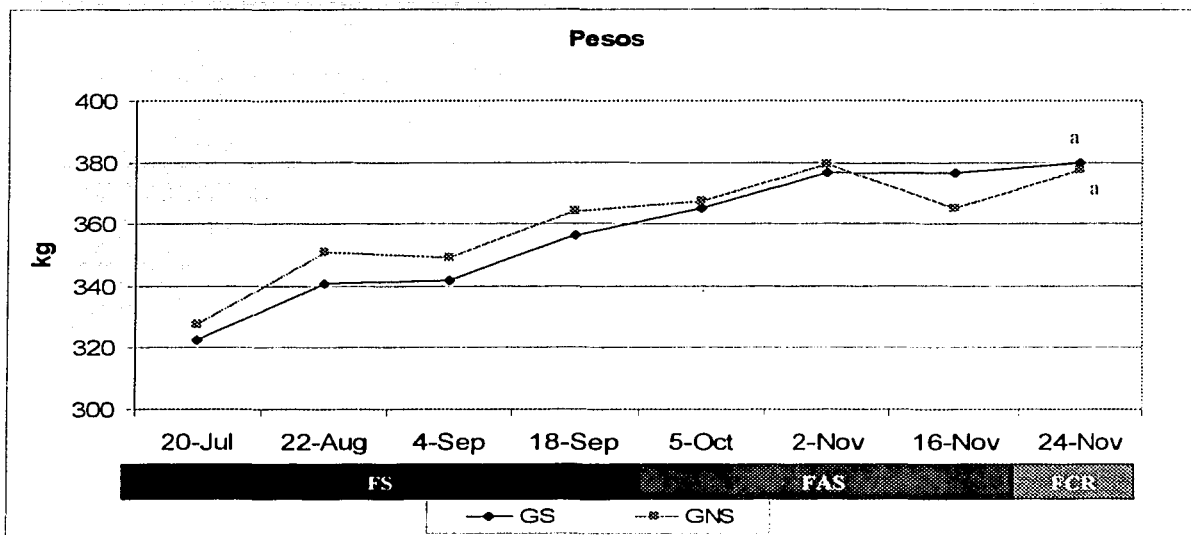


Figura 12. Comparación de pesos y condición corporal a lo largo del estudio entre el grupo suplementado y el no suplementado. (GS) Grupo suplementado, (GNS) Grupo no suplementado, (FS) Fase de selección, (FAS) Fase de adaptación y suplementación, (FCR) Fase de sincronización. Literales diferentes difieren $P < 0.05$

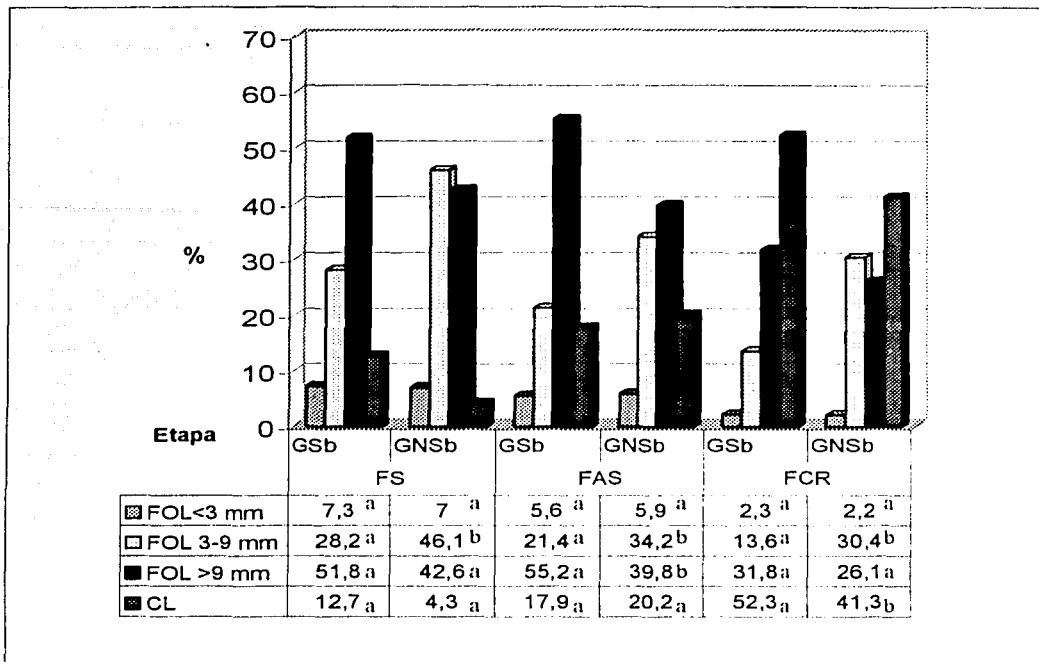


Figura 13. Dinámica folicular de los grupos experimentales a lo largo de las distintas etapas del experimento. (GS) Grupo suplementado, (GNS) Grupo no suplementado, (FS) Fase de selección, (FAS) Fase de adaptación y suplementación, (FCR) Fase de sincronización. Proporción de fila con literal diferente dentro de la fase difieren $P < 0.05$

En cuanto a la ganancia de peso y la condición corporal se observó que los pesos de ambos grupos, así como la condición corporal promedio de los animales presentaron valores similares, el GSb al inicio presentaba un peso promedio de 342.2 ± 36.1 kg y una condición corporal de 2.8, así para el grupo no suplementado el promedio de peso al inicio del experimento fue de 326.3 ± 31.53 kg y una condición corporal promedio de 2.9.

Al final del experimento se observó que para el GSb el peso final fue de 389.1 ± 35.5 kg, y una condición corporal promedio de 3.0 ± 0.2 , mientras que para el GNSb fue de 370.4 ± 30.1 y un promedio de condición corporal de 3.1 ± 0.2 . En cuanto a la ganancia diaria de

peso los animales del GSb ganaron en promedio 0.90 kg al día, mientras que las novillas del GNSb la ganancia diaria de peso fue de 0.60 kg ($P>0.05$).

En la figura 14 se hace la comparación entre el GS y el GNS en cuanto al peso promedio y condición corporal de los animales, en las que se observa que el peso promedio del grupo suplementado al final del experimento fue superior al del grupo no suplementado ($P<0.05$), asimismo la condición corporal de ambos grupos fue similar a lo largo del experimento ($P>0.05$).

Cuadro 2. Respuesta a la sincronización del estro.

** Diferencia $P<0.08$ **Diferencia $P<0.10$*

	GS	GNS
Animales en estro	95.45% ^a (21/22)	91.3% ^a (21/23)
Estro acompañado de ovulación	52.38% ^a (11/21)	42.85% ^a (9/21)
Presentación estro pos retiro implante (Hr)	27.30 ^a	30.80 ^b
Promedio de horas en estro	8.57 ^a	6.61 ^b
Promedio de Actividades sexuales por novilla (monta e intentos de monta)	13.4 ^a	11.0 ^a
Promedio de actividades de cortejo por novilla (topeteo, apoyo, olfateo, lamido genitales, flehmen, seguimiento)	1.71 ^a	1.22 ^a

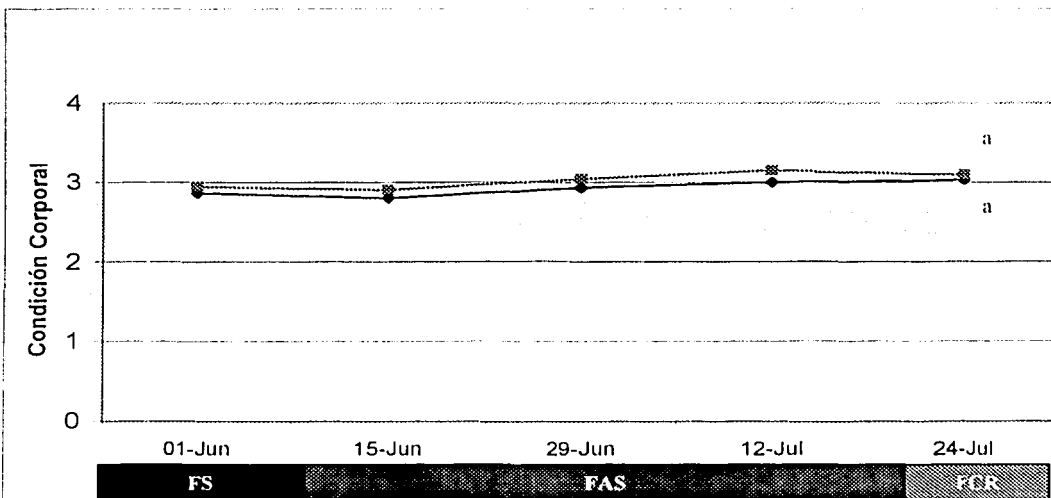
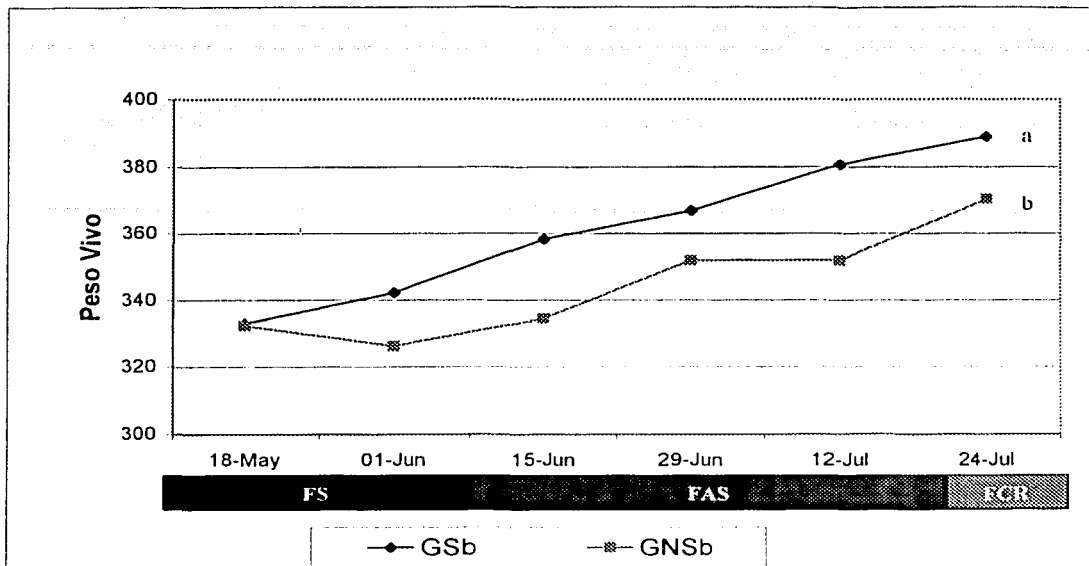


Figura 14. Comparación de pesos y condición corporal a lo largo del estudio entre el grupo suplementado y el no suplementado. (GS) Grupo suplementado, (GNS) Grupo no suplementado, (FS) Fase de selección, (FAS) Fase de adaptación y suplementación, (FCR) Fase de sincronización. Literales diferentes difieren ($P < 0.05$)

3.1.4. DISCUSIÓN

Numerosas investigaciones han puesto de manifiesto el efecto de la suplementación sobre la eficiencia productiva y el desempeño reproductivo, así Cavalieri y Fitzpatrick (1995) trabajando con 164 novillas *Bos indicus* sugieren que los animales con ganancias en su condición corporal (CC) y en su peso tienen una mayor probabilidad de presentar un cuerpo lúteo funcional, así atribuyen que para una CC de 6 (en una escala de 1 a 9) la probabilidad de que el animal presente ciclos estrales normales es de aproximadamente el 60%. En el presente trabajo se observó que tanto en el experimento 1 como en el 2 los animales del grupo suplementado posterior a la sincronización presentaron porcentajes de ciclicidad superiores a los del grupo no suplementado. Asimismo, se observó que en el experimento 2 la ganancia diaria de peso fue superior en comparación con el grupo no suplementado. El que las hembras del grupo suplementado hayan presentado una mayor proporción de novillas con cuerpo lúteo al final de ambos experimentos sugiere que el efecto de suplementar a los animales antes de un programa de sincronización puede tener un resultado similar a la alimentación estratégica en las ovejas ya que se observó que esta tiene un efecto en las tasas de ovulación (Bari *et al.*, 2000) que se puede explicar por la ganancia de peso en el segundo experimento, sin embargo en el primero no hubo diferencias en cuanto al grupo testigo, lo cual sugiere o que en el grupo de animales existen diferencias o que el establecimiento de la ciclicidad que no puede explicarse exclusivamente por ganancia de peso, asimismo se ha señalado que la suplementación incrementa la presentación de la pubertad y aumenta la fertilidad de los animales (Grings *et al.*, 1998) sin embargo en el presente experimento no se encontraron diferencias

estadísticas en el porcentaje final de gestaciones probablemente al número de animales que se evaluaron en los dos experimentos que posiblemente fue reducido.

Por otra parte se han observado resultados variables en cuanto a la respuesta de los animales a los programas de suplementación, así Khirenddine *et al.* (1998) trabajaron con dietas energéticas más la sincronización con un progestágeno sintético (Norgestomet) mencionaron que con la utilización de este tipo de alimentos el crecimiento folicular se incrementa como también la tasa de gestaciones. En el presente estudio se observó que la dinámica folicular fue similar en los grupos en el experimento 1, sin embargo en el experimento 2 durante la fase de adaptación y suplementación los animales que recibían suplemento hubo mayor proporción de animales con folículos mayores a los 9 mm que se tradujeron en un mayor número de animales ciclando en ambos experimentos. Diskin *et al.* (2003) en una revisión de literatura sugieren que el estado nutricional del animal afectará el crecimiento folicular, maduración y la capacidad de ovulación del mismo, aunque la variabilidad en la respuesta se puede deber directamente al animal.

Por otra parte, Soto *et al.* (1997) estudiaron el efecto de la suplementación en novillas criadas bajo condiciones del trópico húmedo de México, observaron que el grupo al cual se le complementó alimento no tuvo efecto sobre el desempeño reproductivo, sin embargo la respuesta a la sincronización fue diferente en los animales que recibieron suplementación, estos presentaron mayor número de montas y duración con respecto a las del grupo testigo (10 montas por novillas por un tiempo de 4.5 horas). En el presente experimento, se pudo observar que los animales del grupo suplementado en ambos casos mostraron una mayor duración del estro (17 horas para el primer experimento y 8.5 para el segundo y un promedio de actividades sexuales de 22 y 13 respectivamente), sin embargo, no se observaron diferencias entre los grupos suplementado y no suplementado. La respuesta a la

sincronización fue superior en los animales del grupo suplementado, así en el experimento I se observó que el 100% de los animales respondieron al tratamiento de sincronización mientras que en el grupo suplementado el 73% en el estudio dos ambos grupos respondieron por arriba del 90%, el porcentaje de ovulaciones con estro fue superior en el GS con respecto al grupo no suplementado en el trabajo uno, sin embargo en el experimento la ovulación acompañada de estro de ambos grupos fue similar. Estos resultados pueden compararse con los obtenidos por Porras *et al.* (1992) quienes sugieren que con la sincronización mediante el uso de progestágenos sintéticos, la respuesta se puede situar entre el 70 al 80%. En adición, Orihuela (2000) mencionó que existen diversos factores que llegan a afectar la presentación del estro en los animales, entre los cuales se tiene las interacciones sociales, formaciones de grupos sexualmente activos, efectos bioestimulatorios, factores ambientales, edad, estado fisiológico y factores genéticos.

En cuanto a las variables productivas estudiadas, la suplementación no tuvo efecto en los animales tratados, ya que ambos grupos tuvieron un comportamiento productivo similar, en contraste con el experimento dos, en el cual se observó que el peso promedio del grupo suplementado fue superior al no suplementado. Soto *et al.* (1997) observaron que la suplementación presenta un efecto positivo en las ganancias diarias de peso y la condición corporal entre los animales que la recibieron y el grupo que se mantuvo solamente a base de pastoreo. Asimismo en el la figura 15 se observa que la cantidad de lluvia promedio durante los meses en que se realizó el primer experimento fue constante, mientras que para el estudio 2 se inicio cuando en la época de lluvias, lo que pudo de cierto modo resaltar el efecto del suplemento.

Con base en las condiciones del presente estudio podemos concluir que la suplementación alimenticia mejora los porcentajes de animales con cuerpo lúteo, sin embargo se observó

que la respuesta en los parámetros productivos como la ganancia diaria de peso y la condición corporal presenta resultados muy variables.

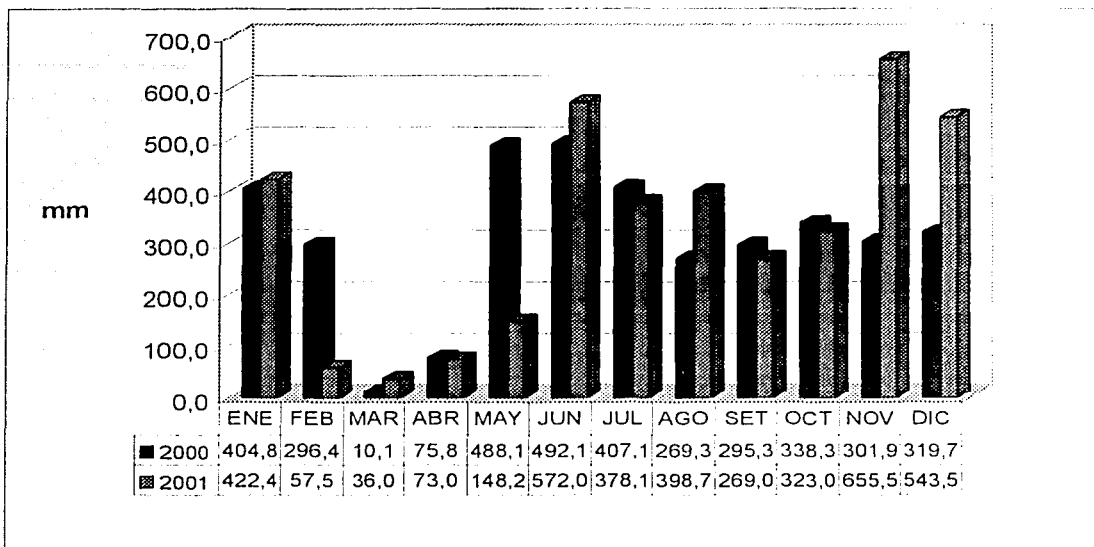


Figura 15. Precipitación pluvial promedio acumulada durante los años 2000 y 2001 en la zoa de Santa Clara, San Carlos, Alajuela, Costa Rica.

*Fuente: Centro Meteorológico 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 160 msnm*

3.1.5. LITERATURA CITADA.

1. Bari F., Khalid M., Haresign W., Murray A., Merrell B. (2000) Effect of mating system, flushing procedure, progesterone dose and donor ewe age on the yield and quality of embryos within a MOET program in sheep. *Theriogenology* 53:727-742.
2. Cavalieri J., Fitzpatrick L.A. (1995) Artificial insemination of *Bos indicus* heifers: The effects of body weight, condition score, ovarian cyclic status, and insemination regimen on pregnancy rate. *Australian Veterinary Journal* 72: 441-447.
3. Diskin M.G., Mackey D.R., Roche J.F., Sreenan J.M. (2003) Effects of nutrition and metabolic status on circulating hormones and ovarian follicle development in cattle. *Animal Reproduction Science* 78: 345-370.
4. Grings E.E., May J.B., Bellows R.A., Short R.E., Bellows S.E., Staigmiller R.B. (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
5. Khireddine B., Grimard B., Pontier A.A., Ponsart C., Boudjenah H., Mialot J. P., Sauvant D., Humblot P. (1998) Influence of flushing on LH secretion, follicular growth and the response to estrus synchronization treatment in suckled beef cows. *Theriogenology* 49: 1409-1423.
6. Mendoza M.G.D., Ricalde V.R. (1996) Suplementación de bovinos en crecimiento en pastoreo. *Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco*, México, D.F.
7. Mukassa-Mugerwa E. 1989 A review of reproductive performance of female *Bos indicus* (zebu) cattle. ILCA Monografía No. 6 International Livestock Centre of Africa 117-125.

8. Murphy M.G., Enright E.J., Crowe M.A., McConell K., Spicer L.J., Boland M.P., Roche J.F.(1991) Effect of dietary intake on pattern of growth of dominant follicles during the oestrous cycle in beef heifers. *Journal of Reproduction and Fertility* 92: 333-338.
9. Orihuela A. (2000) Some factors affecting the behavioural manifestation of oestrus in cattle: a review. *Applied Animal Behaviour Science*. 70: 1-16.
10. Plasse D. 1978 Aspectos del crecimiento de *Bos indicus* en el trópico Americano I. *World Review of Animal Production* 14: 29-48.
11. Plasse D. 1979 Aspectos del crecimiento de *Bos indicus* en el trópico Americano II. *World Review of Animal Production* 15:21-38.
12. Porras A.A., Galina C.S. (1992) Utilización de progestágenos para la manipulación del ciclo estral bovino. *Veterinaria México* 23: 31-36
13. Pulido A., Zarco L., Galina C.S., Murcia C., Flores G., Posadas E. (1991) Progesterone metabolism during storage of blood samples from Gyr cattle: Effect of anticoagulant, time and temperature of incubation. *Theriogenology* 35: 965-975
14. Rhodes F.M., Fitzpatrick L.A., Entwistle K.W., De'ath G. (1995) sequential changes in ovarian follicular dynamics in *Bos indicus* heifers before and after nutritional anoestrus. *Journal of Reproduction and Fertility* 104: 41-49.
15. Riquelme V.E. (1987) Suplementación energética para bovinos en pastoreo. En: Memoria del seminario internacional Suplementación para bovinos en pastoreo. González, S.M. (Ed.) *Centro de Ganadería*, Colegio de Posgraduados.
16. Soto Camargo R., Galina C.S., Rubio I. y 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(1): 51-64.

17. Steel G.R., Torrie H.J. (1980) Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. Second edition. Mc Graw Hill., USA.

18. Stevenson J.S., Lucy M.C., Call E.P. (1987) Failure of timed inseminations and associated luteal function in dairy cattle after two injections of prostaglandin F2 α . *Theriogenology* 28: 937.

3.2. Experimento 2.

PREDICCIÓN DE LA GANANCIA DIARIA DE PESO MEDIANTE EL USO DEL MODELO NRC EN NOVILLAS SUPLEMENTADAS EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE COSTA RICA

Martín Guillermo Maquivar Linfoot^a, Carlos Salvador Galina Hidalgo^a, Germán David Mendoza Martínez^b, Adriana Rebeca Verduzco Gómez^a, Jaime Roberto Galindo Badilla^c, Rafael Molina Sánchez^c, Sandra Estrada Konig.^d

^a Departamento de Reproducción. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF. 56 22 58 60 maquivar@correo.unam.mx

^b Programa de Ganadería. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.

^c Escuela de Agronomía. Instituto Tecnológico de Costa Rica. San Carlos, Alajuela, Costa Rica.

^d Salud de Hato. Escuela de Medicina Veterinaria. Universidad Nacional de Costa Rica.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el modelo NRC (1996) nivel I para la predicción de la ganancia diaria de peso en novillas suplementadas bajo condiciones tropicales. Para tal fin, se realizaron dos experimentos, en el experimento 1 se evaluaron 30 novillas divididas en dos grupos de 15 animales cada uno, el grupo suplementado (GS) presentó un peso inicial de 365.27 ± 24.40 kg recibió concentrado a razón de 1% del peso vivo (5.5% PC, 2.85 Mcal ED) y el no suplementado (GNS) un peso inicial de 367.47 ± 31.65 kg. En el experimento 2 se utilizaron 45 novillas divididas en dos grupos, el GSb con 22 animales, teniendo un peso inicial de 342.23 ± 36.04 kg se les proporcionó alimento a razón del 1% del peso vivo (13% PC, 3.15 Mcal ED) y el GNSb se constituyó por 23 animales teniendo un peso inicial promedio de 326.30 ± 31.53 Kg. En ambos experimentos los animales fueron suplementados a lo largo de 45 días, y estuvieron pastoreando praderas de Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*), Candelario (*Pennisetum purpureum*) y Ratana (*Ischaemum indicum*). En ambos experimentos no se observaron diferencias ($P > 0.05$) para

los cambios de peso. El GS obtuvo ganancias diarias de peso (GDP) de 0.27 kg/d, mientras que el GNS mostró pérdidas de -0.05 kg/d; en el experimento 2 el GSb presentó GDP de 0.90 kg/d y el GNSb de 0.60 kg/d. La GDP predicha en el experimento 1 fue similar a la ganancia observada para el grupo suplementado ($P>0.05$) en contraste con la presentada en el grupo no suplementado en el que la ganancia de peso fue sobrestimada ($P<0.05$). En el segundo experimento la predicción de la GDP tanto para el grupo suplementado como el no suplementado fue subestimada ($P<0.05$). El nivel 1 del modelo de simulación NRC no fue apropiado para la predicción de los cambios de peso en novillas bajo condiciones tropicales.

PALABRAS CLAVE: *Bos indicus*, NRC, simulación, suplementación, pastoreo.

ABSTRACT

Prediction of the daily weight gain by the use of the NRC model in supplemented heifers in the humid tropics of Costa Rica.

The aim of this study was to evaluate the model NRC (1996) level 1 to predict the daily weight gain in heifers supplemented under tropical conditions. For this purpose, two experiments were done, in the first experiment 30 heifers were divided into two groups of fifteen animals each, the supplemented group (GS) showed an initial weight of 365.27 ± 24.40 kg, received commercial concentrate to the ratio of 1% of live weight (5.5% PC, 2.85 Mcal ED) and the control group which was not supplemented (GNS) with an initial weight of 367.47 ± 31.65 kg. In the second study 45 heifers were divided in two groups, the GSb with 22 animals having an initial weight of 342.23 ± 36.04 kg, and given concentrate to the rate of 1% of live weight (13% PC, 3.15 Mcal ED) and the GNSb were made up of 23 animals having an initial average weight of 326.30 ± 31.53 Kg. In both trials the animals

were supplemented throughout for forty-five days and let them grazed on African Star grass (*Cynodon nlemfuensis*), Candelario grass (*Pennisetum purpureum*) and Ratana grass (*Ischaemum indicum*). In both experiments no differences were observed ($P>0.05$) in weight change. The GS had daily weight gains (GDP) of 0.27 kg/d while the GNS showed losses of -0.05 kg/d. In the second trial the GSB showed a GDP of 0.90 kg/d and the GNSb of 0.60 kg/d. The predicted GDP of the first experiment was similar in comparison with the observed value for the supplemented group ($P>0.05$), in contrast with that presented in the GNS group in which the daily weight gain was over estimated ($P<0.05$). In the second trial the GDP predicted for both groups was under estimated ($P<0.05$). The level 1 of the NRC simulation model does not seem to be appropriate for predicting changes in weight in heifers under tropical conditions.

KEY WORDS: *Bos indicus*, NRC, simulation, supplemented, grazing.

3.2.1. INTRODUCCIÓN

En las áreas tropicales el desarrollo de animales de reemplazo es uno de los factores más fundamentales de la producción vacuna. Las bajas ganancias de peso que muestran los animales en el período seguido al destete, con el consiguiente retardo en los procesos de crecimiento y madurez fisiológica, han sido serias limitantes en la planeación de los programas de reemplazo en las fincas ganaderas (1,2).

Para solucionar dicha problemática se han puesto en práctica numerosas estrategias con el fin de incrementar los parámetros productivos de los animales (3), como programas de suplementación alimenticia estratégica con el objeto de proveer aquellos nutrientes que el forraje no aporta en cantidad suficiente (4). La respuesta animal a la suplementación está en función de diversos factores, entre los cuales se encuentra la disponibilidad del forraje, el

tipo y la cantidad de suplemento y efectos asociativos entre el forraje y el suplemento. Para estimar la respuesta de un animal a un programa de suplementación se han desarrollado modelos de simulación, que permiten diseñar estrategias de suplementación en etapas críticas de la producción, tal es el caso de la época antes del programa de empadre en novillas (5,6). Los modelos de simulación permiten estimar la respuesta animal al tomar en cuenta la calidad del forraje, la cantidad y tipo de suplemento en diversas condiciones climáticas (7).

Con el uso de los modelos de simulación es posible estimar la respuesta de acuerdo al tipo de suplemento, en función de los requerimientos nutricionales de acuerdo a su etapa productiva y al consumo de nutrientes. El nivel I del modelo NRC ha sido evaluado en animales en confinamiento en forma satisfactoria y se utiliza en forma convencional para actividades de consultoría en corrales de engorda (8), sin embargo existen pocas evaluaciones en pastoreo bajo condiciones tropicales (6) donde el modelo sería gran utilidad en la selección de suplementos. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el modelo NRC nivel I (5) para la predicción de la ganancia diaria de peso en novillas sometidas a un programa de suplementación alimenticia.

3.2.2. MATERIAL Y MÉTODOS

Los ensayos de suplementación se llevaron a cabo en la unidad de producción bovina del Instituto Tecnológico de Costa Rica, ubicado en Alajuela, Costa Rica ($10^{\circ} 25' N - 84^{\circ} 32' O$), a una altura de 172 metros sobre el nivel del mar, el clima de la región se clasifica como trópico húmedo, teniendo una precipitación anual de 3062 mm (Figura 16), temperatura promedio anual de $27.3^{\circ}C$ y humedad relativa de 85.3%.

Experimento 1.

Se utilizaron 30 hembras bovinas (*Bos taurus* x *Bos indicus*) con un rango de edad de 24 a 36 meses, divididas en 2 grupos de 15 animales designadas aleatoriamente. Las novillas iniciaron el estudio con un peso promedio de 365.27 ± 24.40 kg, y fueron sometidas a un programa de suplementación (GS) con un concentrado comercial (Citrocom® Casa Dos Pinos, Costa Rica), a razón de 1 % del peso vivo, (5.5% PC, 2.85 Mcal ED/kg MS), además del acceso ad libitum a sales minerales (Ganafos Plus® Pienso S.A., Costa Rica). El grupo no suplementado (GNS) inició el experimento con un peso promedio de 367.47 ± 31.65 kg, y solo tuvieron acceso a los minerales y se mantuvieron en pastoreo continuo. El ensayo tuvo una duración de 45 días y se efectuó en los meses de septiembre a noviembre (época invernal 2000). Las novillas fueron pesadas cada 15 días. El concentrado se ofreció por la mañana y el resto del día se mantenían en praderas a base de Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*), Candelario (*Pennisetum purpureum*) y Ratana (*Ischaemum indicum*) (Cuadro 3). Los resultados de cambio de peso fueron analizados mediante un diseño Completamente Aleatorizado usando el peso inicial como covariable (9).

Experimento 2.

Se utilizaron 45 novillas (*Bos taurus* x *Bos indicus*) de 24 a 36 meses de edad, divididas aleatoriamente en dos grupos, el grupo suplementado (GSb) formado por 22 animales, teniendo un peso inicial de 342.23 ± 36.04 kg, alimentándose con un suplemento comercial (Citrocarne®, Casa Dos Pinos, Costa Rica) a razón del 1% del peso vivo (13% PC, 3.15 Mcal ED/kg MS), con libre acceso a sales minerales (Ganafos Plus® Pienso S.A., Costa Rica). El grupo no suplementado (GNSb) se constituyó por 23 novillas con un peso inicial promedio de 326.30 ± 31.53 kg., las cuales fueron mantenidas solamente con pastoreo y

sales minerales. El ensayo tuvo una duración de 45 días y se efectuó en los meses de mayo y julio (época de lluvia 2001). Las novillas fueron pesadas cada 15 días. La ganancia diaria de peso se analizó de acuerdo a un Diseño Completamente al Azar usando el peso inicial como covariable (9).

Evaluación del modelo de simulación

El modelo de simulación utilizado para la estimación de los cambios de peso y la ganancia diaria de peso fue el desarrollado por el NRC utilizando el Nivel 1 (5), para lo cual se estimó el contenido energético con base a la composición reportada (10) con las ecuaciones del NRC (5) basándose en la digestibilidad in vitro (11):

$$\text{TND} = \text{DIVMS} * 0.92$$

$$\text{EM (Mcal/kg)} = 3.62 * (\text{TND}/100)$$

$$\text{ENm} = 1.37 \text{ EM} - 0.138 \text{ EM}^2 + 0.0105 \text{ EM}^3 - 1.12$$

$$\text{ENG} = 1.42 \text{ EM} - 0.174 \text{ EM}^2 + 0.0122 \text{ EM}^3 - 1.65$$

Donde:

TND = Total de nutrientes digeribles, %.

EM = Energía metabolizable, Mcal/kg MS.

ENm = Energía neta para mantenimiento, Mcal/kg MS.

Eng = Energía neta para ganancia, Mcal/kg de MS.

Para estimar el valor de consumo de matera seca que requiere el modelo (5), se estimó el consumo máximo con base a la capacidad ruminal de distensión y concentración de de FDN (12):

$$\text{CCFDN} = 1.1 * (\text{PV}/100)$$

$$\text{CMS (fdn)} = \text{CCFDN}/\text{FDNR}$$

Donde:

CCFDN = Capacidad de consumo de FDN, kg /d

FDNR = Contenido de FDN de la ración, kg /kg MS

CMS (fdn) = Consumo máximo de MS, kg/d

PV = Peso vivo, kg

Para la evaluación del modelo se hizo una comparación de los valores predichos y los observados con un intervalo de confianza para cada tratamiento (6, 13), donde los valores predichos que están dentro del intervalo se consideran estadísticamente similares a los observados (6, 14).

3.2.3. RESULTADOS

Experimento 1

No se encontraron diferencias en los cambios de peso de las vaquillas con o sin suplemento, a pesar de que el grupo testigo estaba perdiendo peso (Cuadro 4). A pesar de que no se detectaron diferencias en la Figura 16 se puede observar que el peso vivo se incrementó en forma lineal en el grupo suplementado ($P < .05$, $r^2 = .74$), mientras que en grupo testigo no hubo respuesta.

Experimento 2

En este ensayo solo se detectó un mayor peso final en el grupo con suplemento (Cuadro 4), sin detectarse cambios en la ganancia de peso. A diferencia del experimento 1, en este ensayo si se detectó una respuesta lineal ($P < .05$) en el peso vivo con relación a los días de alimentación en ambos grupos (Figura 17), que mostraron un balance positivo.

Evaluación del modelo de simulación

En el Cuadro 5 se muestran los valores de ganancia diaria de peso (GDP) observados y los predichos mediante el modelo NRC para ambos experimentos. La GDP predicha fue similar a la ganancia observada en el experimento 1 para el grupo suplementado ($P > 0.05$) en contraste con la presentada en el grupo no suplementado en el que la ganancia de peso fue sobrestimada. En el segundo experimento la predicción de la ganancia tanto para el grupo suplementado como el no suplementado fue subestimada. ($P < 0.05$).

3.2.4. DISCUSIÓN

Experimento 1

La falta de respuesta al suplemento pudo deberse a que el contenido de proteína de los forrajes haya sido menor al reportado previamente (10), lo cual resultó en pérdidas de peso del testigo, mientras que con el suplemento con 5.5% de PC se tuvieron ganancias de peso bajas. En términos generales se han reportado ganancias alrededor de 0.5 kg/d en bovinos pastoreando pasto estrella sin suplemento (15). Resultados de análisis de pasto estrella en trópico húmedo muestran valores de 5 a 9% de PC (15, 16, 17, 18, 19 20). Los resultados del experimento 1 fueron la causa para que se usara un suplemento con 13% de PC en el segundo ensayo.

Se han reportado cambios de peso de -0.29 a 0.26 kg/d en praderas tropicales sin complementación, (3) y se han logrado ganancias máximas de 1.4 kg/d (17) hasta 1.50 kg/d (3) con suplementos en trópicos, lo cual muestra el potencial de crecimiento para razas cebuinas en el trópico húmedo.

Experimento 2

Se sabe que los forrajes pueden presentar gran variación en disponibilidad y calidad entre años, y entre épocas (7). Es posible que el forraje haya tenido una mayor concentración de proteína lo cual permitió una mayor ganancia en ambos grupos.

Estudios realizados con toretes en el trópico húmedo del estado de Chiapas, mostraron una mejor respuesta en los animales suplementados con proteína de sobrepaso (GDP 0.757 kg/d), mientras que los animales testigo tuvieron menor ganancia (0.310 kg/d) (21).

La respuesta a la suplementación animal en pastoreo es el resultado de diversas interacciones entre el animal, el forraje, microorganismos, clima, suelo y manejo (7). En términos generales al suplementar se pueden esperar efectos sustitutivos o asociativos (sinérgicos o antagónicos) (4). Diversas investigaciones han demostrado que la suplementación de animales mejora la respuesta productiva de los animales en trópico húmedo (17, 18, 19, 20, 21).

Evaluación del modelo de simulación

Los requerimientos nutricionales publicados por el NRC (5), están presentados con un programa software con dos niveles de simulación, donde se consideran variables como tipo de ganado, estado fisiológico, edad, consumo, ambiente y otros factores como el uso de aditivos. El nivel I está basado en el sistema de proteína metabolizable y en el Sistema de California de EN, y el nivel II considera además las tasas de degradación de los carbohidratos y compuestos nitrogenados del sistema de proteína de Cornell (22). En general es más factible usar el nivel I, a menos que se cuente con la información completa de la cinética de degradación de los alimentos.

El modelo NRC ha permitido detectar deficiencias de proteína degradable en confinamiento y en se considera que tiene un sistema adecuado para los requerimientos de proteína (23, 24), por lo que las desviaciones en este estudio podrían estar asociadas al balance energético.

Es importante tener la información precisa de la raza o sus cruza, dado que la selección del tipo genético modificará los requerimientos de mantenimiento (24) y eso podría afectar los cálculos de la materia seca disponible para ganancia, y por lo tanto la ganancia de peso y la eficiencia alimenticia (7).

Con relación a los factores ambientales, existen algunos cuestionamientos sobre la aplicación del modelo NRC. Se ha sugerido que se usen los datos de temperatura media del mes, usando el promedio de largo plazo (24). La complejidad de estimar los factores ambientales en el metabolismo basal y en el balance calórico son aspectos que los modelos deberán seguir siendo validados y modificados de acuerdo al conocimiento que se esté generando en esta área (25).

Se debe de tener presente que al usar cualquier modelo de simulación, la falta de precisión en la predicción puede estar asociada a la información que se ingresa (por ejemplo, composición química), a las ecuaciones incorporadas al modelo, que pueden ser apropiadas para clima templado y no para condiciones con estrés calórico, o bien que no consideran el gasto energético asociado al pastoreo.

Las estimaciones de consumo de MS de este estudio se presentan en el Cuadro 3. En términos generales se puede observar que la estimación de consumo basada en la distención ruminal resulta en valores alrededor de 1.5% del peso vivo, lo cual puede considerarse como una subestimación. Esta relación se da en forrajes de muy baja calidad (26), sin embargo, los valores predichos por NRC, están alrededor del 2% del PV. Experimentos de

suplementación con estimaciones de consumo con marcadores en trópico húmedo, muestran que en el CMS esta alrededor del 3.4% del peso vivo (17, 18, 19, 20). La evaluación del modelo NRC con bovinos en finalización subestimaron el consumo en alrededor de 1.3 kg/d, pero estimaron forma adecuada los balances de proteína (degradable, metabolizable) y la ganancia de peso (24). Uno de los principales problemas que tienen los modelos de estimación con forrajes tropicales es la estimación del consumo (3, 14), dado que no consideran factores como el balance calórico (25), lo cual hace más difícil la predicción del comportamiento productivo.

Una evaluación del modelo NRC de tres pruebas de comportamiento realizadas en la Universidad de Nuevo León (27), mostró una predicción relativamente buena del consumo ($R^2=0.49$), pero la predicción de la ganancia de peso fue subestimada ($R^2=0.17$). Resultados de evaluaciones de 24 corrales de engorda en Canadá mostraron una buena predicción del consumo y una subestimación de la GDP (28).

Otra evaluación del modelo NRC (1996) con información de 7 experimentos realizados en la Universidad de Nebraska, de bovinos en crecimiento con 54 raciones, con diferentes condiciones dietarias que comprendían desde forrajes de baja calidad, mediana (ensilajes), hasta niveles elevados de grano, fue realizada usando análisis de regresión (29). A pesar de que las diferencias del consumo estimado y el predicho fueron del orden de 0.5 kg/d, el análisis de regresión mostró que hay una subestimación del consumo, encontrando que el modelo predice adecuadamente el consumo cuando la concentración de ENm está entre 1.27 y 1.32 Mcal/kg, pero sobrestima cuando la ENm es menor, y la subestima cuando es mayor. Con relación a los cambios de peso, hubo una subestimación cuando las GDP eran

bajas y una sobreestimación cuando fueron altas. A bajas concentraciones de ENg, el modelo NRC subestimó la ganancia, mientras que la sobreestimó con mayor contenido de energía, en experimentos donde no hubo deficiencias de proteína (29).

El modelo NRC (1996) no permite estimar en forma adecuada el comportamiento de bovinos en pastoreo (6), por lo que es modificar el modelo, o bien desarrollar otros modelos para estas condiciones (30, 31).

CONCLUSION

La predicción de las ganancias diarias de peso en novillas bajo condiciones tropicales por medio del uso del modelo de simulación NRC (1996) fue muy variable, debido a las condiciones climáticas y a las asociaciones entre el animal, el forraje y la suplementación. Se requieren más estudios y modificaciones del modelo NRC nivel 1 relacionadas a los requerimientos de energía bajo condiciones de pastoreo en trópico húmedo para mejorar la exactitud de la predicción del comportamiento animal en esas condiciones.

AGRADECIMIENTOS.

Se agradece a la Secretaría de Relaciones Exteriores del Gobierno Mexicano a través de ANUIES-CSUCA así como al Gobierno de Costa Rica, el financiamiento otorgado para la realización del presente estudio.

3.2.5. LITERATURA CITADA

1. Mukasa-Mugerwa E, Tegegne A, Anderson C.A. Effect of oestrous synchronization with prostaglandin F_{2α} in Ethiopian highland Zebu (*Bos indicus*) cows. Anim Prod 1989, 48(2): 367-373.
2. Plasse, D. Crossbreeding results from beef cattle in the Latin American tropics. Anim Breed Abstr 1983, 51(11): 779-797.

3. Peiris H, Elliott R, Hales H, Norton BW. Alternative management strategies for maximizing productivity un beef cattle in the subtropics. Aust J Exp Agr, 1995, 35(3): 317 – 324.
4. Riquelme VE. Suplementación energética para bovinos en pastoreo. En: Memoria del seminario internacional Suplementación para bovinos en pastoreo. González, S.M. (Ed.) Centro de Ganadería, Colegio de Posgraduados. 1987.
5. NRC. National Research Council. Nutrient Requirements of beef cattle. Seventh Revised Edition. Washington, D.C. USA: National Academy Press; 1996.
6. Zuart RCA. Aplicación de dos modelos matemáticos para predecir cambios de peso de toretes en pastoreo en trópico húmedo. [Tesis-Maestría] Montecillo, Edo. De México: Programa de Ganadería, Colegio de Posgraduados. 1999.
7. Mendoza MGD, Ricalde VR. Suplementación de bovinos en pastoreo. Universidad Autónoma Metropolitana. Xochimilco 1996, México.
8. Zinn RA, Mendoza GD. 2000. Uso de modelos de simulación para la evaluación de corrales de engorda. Memorias del Congreso Nutrición y manejo de la alimentación en ganado Bovino productor de carne. Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal, A.C. Guadalajara Jal. 19-21 Julio. 5-10 pp.
9. Steel GR, Torrie HJ. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. Second edition. USA Mc Graw Hill. 1980.
10. Sánchez JM, Soto H. Contenido de energía estimada para el crecimiento del ganado bovino, en los forrajes del trópico húmedo de Costa Rica. Agronomía Costarricense 1999; 23(2): 173-178.

11. Fernández-Rivera S, Lewis M, Kopfenstein TJ, Thompson TL. A simulation model of forage yield, quality and intake of growing cattle grazing cornstalks. *J Anim Sci* 1989; 67(2): 581-589.
12. Mertens DR. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *J Anim Sci* 1987; 64(5): 154- 158.
13. Kuehl OR. Diseño de experimentos. 2da edición México: Ed. Thomson Learning.. 2001.
14. Tobias CB. 1997. Desarrollo de un modelo de simulación para predecir cambios de peso de toretes en pastoreo en el trópico húmedo. [Tesis de Maestría.] Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
15. Pérez PJ, Alarcón ZB, Mendoza GM, Bárcena GR, Hernández GA, Herrera HJG. Efecto de un banco de proteína de kudzú en la ganancia de peso de toretes en pastoreo de estrella africana. *Téc Pec Méx* 2001; 39(1):39-52.
16. Ramos, JA, Mendoza MG, Aranda IE, García BC, Bárcena GR. Caracterización del nitrógeno del pasto estrella con dos sistemas: proteína metabolizable y proteína cruda digestible. *Rev. Fac. Agron. Zulia*. 1995; 12 (2):209-220.
17. Ramos, JA, Mendoza MGD, Aranda IE, García-Bojalil C, Bárcena GR, Alanís J. Escape protein supplementation of growing steers grazing stargrass. *Anim. Feed Sci. Technol.* 1998; 70(3):249-256.
18. Cabrera EJI, Mendoza MGD, Aranda IE, García-Bojalil C, Bárcena GR, Ramos JA. *Saccharomyces cerevisiae* and nitrogenous supplementation in growing steers grazing tropical pastures. *Anim. Feed Sci. Technol.* 2000; 83(1):49-55.

19. Aranda IE, Mendoza GD, García-Bojalil C, Castrejón FP. Growth of heifers grazing stargrass complemented with sugar cane, urea and a protein supplement. *Lives. Prod. Sci.* 2001; 71(2):201-206.
20. Gómez VA, Pérez PJ, Mendoza MGD, Aranda IE, Hernández GA. Fibrolytic enzymes improve performance in steers fed sugar cane and stargrass. *Lives. Prod. Sci.* 2003; 82(3):249-254.
21. Zuart RCA, Bárcena GR, Mendoza MG, Hernández GA, García BC, Valdivia AR. Harina de carne, grasa protegida o urea como suplementos para toretes en pastoreo en el trópico húmedo. *Rev. Chapingo Serie Ingeniería Agropecuaria* 2001; 3:55-59.
22. Fox DG, Sniffen CJ, O'Connor JD, Russell JB, Van Soest PJ. The Cornell net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. Part I. A model for predicting cattle requirements and feedstuff utilization. 1990 *Research: Agriculture*. Number 34. pp. 1-83.
23. Erickson G, Milton T, Klopfenstein T. Evaluation of 1996 NRC for protein and phosphorus requirements of finishing cattle. *Nebraska Beef Report* 1998; MP69-A: 84-85.
24. Lardy G, Adams D, Klopfenstein T, Brink D. Use of NRC model for evaluating nutrient balances of grazing beef cattle. *Nebraska Beef Report* 1998; MP-69-A: 84-85.
25. Mendoza MG, Pinos JM, Ricalde V, Aranda IE, Rojo RR. Modelo de simulación para estimar el balance calórico de bovinos en pastoreo. *Interciencia* 2003; 28(4): 202-207.
26. Cordova DF. Efecto de la suplementación nitrogenada y un cultivo de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) en la digestibilidad y consumo de pasto insurgente

(*Brachiaria brizantha*) en toretes. [Tesis Maestría] Montecillo, Edo. de México, Programa de Ganadería, Colegio de Postgraduados; 1996.

27. Morales H, Gutiérrez OE. 2000. Uso del modelo NRC (1996) para evaluar el balance de nutrientes de toretes Holstein en engorda intensiva. VIII Congreso Internacional de Nutrición Animal. Universidad Autónoma de Chihuahua. 28.
28. Block HC, McKinnon JJ, Mustafa AF, Christensen DA. Evaluation of the 1996 NRC beef model under western Canadian environmental conditions. J. Anim. Sci. 2001; 79(1):267-275.
29. Patterson T, Klopfenstein T, Milton T, Brink D. Evaluation of the 1996 beef cattle NRC model predictions of intake and gain for calves fed low or medium energy density diets. Nebraska Beef Report. 2000; MP 73-A:26-29.
30. Tobias B, Mendoza GD, Arjona E, Garcia-Bojalil C, Suarez ME. A simulation model of performance of growing steers grazing in tropical pastures. J. Anim. Sci. 1997; 75:271 (Suppl. 1).
31. Mendoza MGD, González MS, Ricalde VR. 1993. Simulation model for steer growth and heat production in warm climates. Proceedings, Volume 3, 162-163. VII World Conference on Animal Production. Edmonton, Canada.

Cuadro 3. Valores nutricionales de los forrajes de los potreros, (Sánchez y Soto 1999)

	Estrella Africana	Candelario	Ratana
MS, %	23.1	18.8	20.5
PC, %MS	17.1	15.2	9.1
FDN, %MS	72.3	64.6	68.8
DIVMS, %	70.2	72.0	66.1

Cuadro 4. Cambios de peso en novillas con o sin suplemento en los dos experimentos

	Suplemento	Testigo
Experimento 1		
Peso inicial, kg	365.27 ± 24.4 ^a	367.47 ± 31.65 ^a
Peso final, kg	376.67 ± 22.37 ^a	365.20 ± 31.75 ^a
Cambios de peso, kg	11.53	-2.27
GDP, kg/d	0.27 ^a	-0.06 ^a
Experimento 2		
Peso inicial, kg	342.23 ± 36.04 ^a	326.30 ± 31.53 ^a
Peso final, kg	380.59 ± 31.65 ^a	351.87 ± 65.54 ^b
Cambio de peso, kg	38.06	25.57
GDP, kg/d	0.90 ^a	0.60 ^a

^{ab} Medias con distinta literal en la misma hilera son diferentes (P <0.05).

Cuadro 5. Predicción de ganancia con modelo NRC y valores de consumo estimados.

	Suplemento	Testigo
Experimento 1		
GDP observada, kg/d (\pm IC)	0.27 \pm 0.26 ^a	-0.06 \pm 0.25 ^a
GDP estimada, kg/d	0.39 ^a	0.29 ^a
Consumo (fdn), kg/d	5.53	5.64
Consumo (NRC), kg/d	8.21	5.30
Experimento 2		
GDP observada, kg/d (\pm IC)	0.90 \pm 0.40 ^b	0.61 \pm 1.52 ^b
GDP estimada, kg/d	0.46 ^a	0.32 ^a
Consumo (fdn), kg/d	5.38	5.13
Consumo (NRC), kg/d	7.53	8.30

^{ab} Medias de GDP estimada con distinta literal de la GDP observada en la misma columna dentro de experimento son diferentes ($P < 0.05$).

IC: Intervalo de confianza ($P < 0.05$).

Consumo (fdn): consumo de materia seca máximo por distensión ruminal.

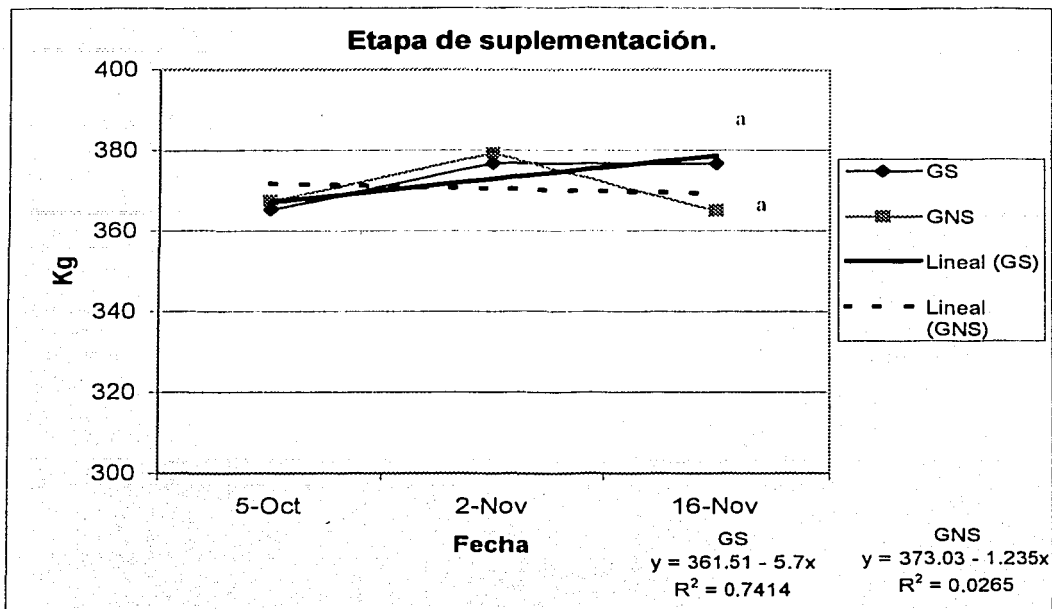


Figura 16. Cambios de peso en vaquillas Bos taurus x Bos indicus con suplementación (GS) y sin suplementación (GNS) durante el experimento 1.

^aNo se observaron diferencias ($P > 0.05$)

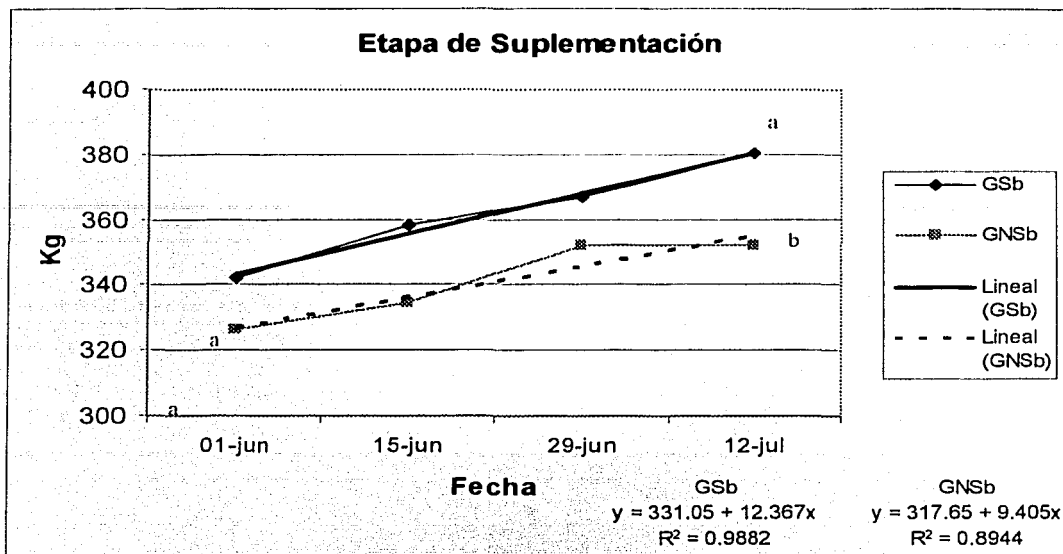


Figura 17. Cambios de peso en vaquillas *Bos taurus* x *Bos indicus* con suplementación (GSb) y sin suplementación (GNSb) durante el experimento 2.

Literales diferentes difieren ($P > 0.03$)

IV. DISCUSIÓN GENERAL

Dentro de las explotaciones bovinas, una de las etapas más importantes en la producción es la cría de reemplazos, ya que estos serán el futuro de la explotación. Infelizmente no existe una fórmula con la cual se pueda optimizar este proceso. Sin embargo, se conocen algunos factores que llegan a afectar este proceso, como son los nutricionales, genéticos, manejo y ambientales (Mukassa-Mugerwa, 1989) En los últimos años se ha tratado de entender los mecanismos por los cuales la nutrición afecta la reproducción y como poder manejar los procesos fisiológicos con el fin de incrementar la eficiencia tanto productiva como reproductiva. Lamentablemente los estudios al respecto presentan resultados muy variables, debido al tipo de animales que se utilizan, tipo de dietas alimenticias, tipo de explotaciones y finalmente las condiciones en las cuales se encuentran los animales. En general se sabe que la suplementación mejora los parámetros productivos y sobre todo los reproductivos, al respecto Patterson *et al.* (2003) evaluaron la suplementación en novillas primíparas, sus resultados sugieren que los sistemas de alimentación en este tipo de animales pueden llegar a incrementar la eficiencia tanto productiva como reproductiva de los animales al tener novillas gestantes con dos años de edad, asimismo indican que la mejor época de suplementación se encuentra entre los meses de invierno ya que en estas épocas es en la que se presenta un déficit en cuanto a la disponibilidad del forraje y es en los cuales en el que se presenta la mejor respuesta a la suplementación., asimismo, el costo de producción de novillas de reemplazo es alto dentro de las producciones bovinas, con el uso de técnicas que permitan elevar el desempeño reproductivo de los animales y acortar los intervalos entre el desarrollo y la preñez ha traído como consecuencia la implementación de sistemas de alimentación, en adición estos investigadores concluyen que al mejorar el desempeño

reproductivo de las novillas, se beneficia la productividad de los establos y que las hembras de primer parto responden mejor a la suplementación especialmente si éstas se encuentran perdiendo peso como condición corporal. Holroyd *et al.* (1979) mencionan que el principal factor que uno de los factores que mayor importancia tiene en cuanto a la eficiencia reproductiva de los animales es la estacionalidad y la variación en cuanto a las condiciones climáticas de un año a otro, en el presente estudio se observaron diferentes respuestas entre los experimentos, probablemente debido al suplemento y a las condiciones imperantes en cada año. Castellanos *et al.* (1998) evaluaron el efecto de la suplementación en novillas de doble propósito sobre el desempeño reproductivo el trópico húmedo de México, encontraron que los animales del grupo tratado no mejoraron su ganancia diaria de peso así como tampoco mejoraron la condición corporal con respecto al inicio del estudio, sin embargo observaron que los animales suplementados mostraron obtuvieron mejores tasas de gestación. En el presente estudio, se observó que el desempeño productivo no fue similar entre años, sin embargo el desempeño reproductivo reflejado en proporción de animales ciclando fue superior en ambos experimentos, sin embargo la tasa final de gestación fue similar para ambos grupos. Por otra parte Enriquez de la Fuente *et al.* (1993) estimaron la época más propicia para la implantación de un programa de empadre en ganado cebú, sus resultados sugieren que la mejor época es entre los meses de primavera y verano, ya que son la época en la cual existe una mayor precipitación pluvial y por lo tanto una mejor producción y disponibilidad de forraje, en adición mencionan que solamente el 22.3% de las hembras de primer parto tienen regularidad de tener un parto al año, además que el 70% del hato tiene intervalos superiores a los 18 meses. De este modo cobra especial importancia el tiempo que transcurre entre el parto y el reinicio de la actividad ovárica y los retrasos en los procesos de crecimiento debido a factores nutricionales sobre todo en

aquellos momentos en los cuales existe una demanda de nutrientes, tal es el caso de la pubertad y la etapa de puerperio (Gauthier *et al.*, 1983).

Los programas de suplementación alimenticia han demostrado ser un importante herramienta con el fin de incrementar la eficiencia reproductiva de los hatos, sin embargo estos trabajos presentan una gran variabilidad en cuanto a sus resultados, al respecto Soto *et al.* (1997) evaluaron el efecto de la suplementación en vaquillas cebú, encontraron que la alimentación de los animales incrementa el desempeño reproductivo, sin embargo, no mejora los parámetros reproductivos, en contraste con el presente experimento en el que se observó que en ambos estudios la suplementación mejoró la tasa de ciclicidad de los animales que recibieron suplemento. Es por eso que se hace necesario realizar más estudios con el fin de discernir el efecto de la alimentación en los animales, teniendo en cuenta el estado de las hembras, las condiciones ambientales en las cuales se está llevando a cabo la alimentación y el manejo que se tenga con los animales. Sin embargo, una seria limitante en la implementación de estudios de este tipo es que son muy costosos y por lo general muy tardados, por lo que se han puesto en práctica el uso de modelos de simulación que permiten estimar la respuesta animal a los distintos programas de alimentación y conocer el momento óptimo para la implementación de estos sistemas. Es por ello que uno de los objetivos de este proyecto fue evaluar la capacidad que un modelo de simulación (NRC 1996) fuera validado bajo las condiciones de Costa Rica con el fin de que este ejercicio sirva como ejemplo para las condiciones de otros países en condiciones similares.

Por lo tanto, y en base a los presentes estudios podemos concluir que la suplementación alimenticia depende de mucho factores, tales como las condiciones de los animales a los cuales se van a alimentar, época del año en la cual se va a realizar el programa alimenticio, número de animales del hato o programa y las condiciones medio-ambientales en las cuales

se encuentran los animales. Asimismo, el uso de los modelos de simulación es una importante herramienta en la toma de decisiones, sin embargo estos presentan solamente una estimación, que en ocasiones no se apega a los resultados biológicos debido a los numerosos factores que pueden llegar a afectar la respuesta de los animales.

V. LITERATURA CITADA.

1. Ahima R.S., Flier J.S. (2000) Adipose tissue as an endocrine organ *Trends in Endocrinology and Metabolism* 11: 327-332.
2. Aranda E., Mendoza G.D., García-Bojalil C., Castrejón F. (2001) Growth of heifers grazing stargrass complemented with sugar cane, urea and a protein supplement. *Livestock Production Science* 71: 201-206.
3. Armstrong, D.G., Webb, R. (1997) Ovarian follicular dominance: novel mechanisms and protein factors. *Reviews of Reproduction* 3:134-146.
4. Ashes J.R., Siebert B.D., Gulati S.K., Cuthbertson A.Z., Scott T.W. (1992) Incorporation of n-3 fatty acids of fish oils into tissue and serum lipids of ruminants. *Lipids* 27: 629-631.
5. Bao, B., Garverick, H.A., Smith, G.W., Smith, M.F., Salfen, B.E., Youngquist, R.S. (1997) Changes in messenger ribonucleic acid encoding luteinizing hormone receptor, cytochrome P450-side chain cleavage, and aromatase are associated with recruitment and selection of bovine ovarian follicles. *Biology of Reproduction*. 56:1158-1168.
6. Barash, I.A., Cheung, C.C., Weigle, D.S., Ren, H., Kabigting, E.B., Kuijper, J.L., Clifton, D.K. y Steiner, R.A. (1996) Leptin is a metabolic signal to the reproductive system. *Endocrinology* 137: 3144-3147.
7. Bauman D.E., Currie W.B. (1980) Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *Journal of Dairy Science* 63: 1514.

8. Beam, S.W., Butler, W.R. (1999) Effects of energy balance on follicular development and first ovulation in postpartum dairy cows. *Journal of Reproduction and Fertility*. (Suppl.) 54: 411-424.
9. Bergfeld E.G.M., Kojima F.N., Cupp A.S., Wherman M.E., Peters K.E., Garcia-Winder M, Kinder J.E. (1994) Ovarian follicular development in prepubertal heifers is influenced by level of dietary energy intake. *Biology of Reproduction* 51: 1051-1057.
10. Block H.C., McKinnon A.F., Mustafa A.F., Christensen D.A. (2001) Evaluation of the 1996 NRC beef model under western Canadian environmental conditions. *Journal of Animal Science*. 79: 267-275.
11. 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. *Journal of Animal Science* 77: 1536-1546.
12. Burke J.M., Hampton J.H., Staples C.R., Thatcher W.W. (1998) Body condition influences maintenance of a persistent first wave dominant follicle in dairy cattle. *Theriogenology* 49: 751-760.
13. Butler, W.R. (2000) Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Animal Reproduction Science* 60-61: 449-457.
14. Castellanos A., Castillo E., Rubio I., Galina C.S., Martínez A. Efecto del nivel de suplementación sobre la fertilidad de novillonas Brahman en un clima húmedo af(m)l. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 7: 22-29.

15. Cavalieri J., Fitzpatrick L.A. (1995) Artificial insemination of *Bos indicus* heifers: The effects of body weight, condition score, ovarian cyclic status, and insemination regimen on pregnancy rate. *Australian Veterinary Journal* 72: 441-447.
16. Cunningham E.P. 1989 The genetic improvement of cattle in developing countries. *Theriogenology*, 31: 17-28
17. Currie W.D., Bauer M., Rawlings N.C. (1993) The effect of naloxone on LHRH secretion of luteinising hormone from the median eminence of anoestrus ewes. *Animal Reproduction Science* 31: 113-122.
18. Dijkstra J., Neal H.D.St.C., Beever D.E., France J. (1992) Simulation of nutrient digestion, absorption and outflow in the rumen: Model description. *Journal of Nutrition* 122: 2239-2256.
19. Diskin M.G., Mackey D.R., Roche J.F., Sreenan J.M. (2003) Effects of nutrition and metabolic status on circulating hormones and ovarian follicle development in cattle. *Animal Reproduction Science* 78: 345-370.
20. Doerau M., Ferlay A. (1994) Digestion and utilisation of fatty acids by ruminants. *Animal Feed Science and Technology* 45: 379-396.
21. Downing, J.A., Joss, J., Connell, P., Scaramuzzi, R.J. (1995^a) Ovulation rate and the concentrations of gonadotrophin and metabolic hormones in ewes fed lupin grain. *Journal of Reproduction and Fertility*, 103: 137-145.
22. Downing, J.A., Joss, J., Scaramuzzi, R.J. (1995^b) Ovulation rate and the concentrations of gonadotrophins and metabolic hormones in ewes infused with glucose during the late luteal phase of the oestrous cycle. *Journal of Endocrinology*. 146: 403-410.

23. Downing, J.A., Scaramuzzi, R.J. (1991) Nutrient effects on ovulation rate, ovarian function and the secretion of gonadotrophin and metabolic hormones in sheep. *Journal of Reproduction and Fertility*. (Suppl.) 43: 209-227.
24. Enriquez de la Fuente B.A., Galina C.S., Navarro R.R., Gutierrez A.C. (1993) Estimación de la época más propicia para un empadre estacional en ganado cebú bajo condiciones del trópico húmedo. *Avances en Investigación Agropecuaria* 2: 101-114.
25. Fortune, J.E. (1986) Bovine theca and granulosa cells interact to promote androgen production. *Biology of Reproduction*. 35:292-299.
26. Fortune, J.E., Hansel, W. (1985) Concentrations of steroids and gonadotrophins in follicular fluid from normal heifers and heifers primed for superovulation. *Biology of Reproduction*. 32: 1069-1079.
27. Foster D.L., Nagatani S. (1999) Physiological perspectives on leptin as a regulator of reproduction: Role in timing puberty. *Biology of Reproduction* 60: 205-215.
28. Fox D.G., Black J.R. A system for predicting body composition and performance of growing cattle. *Journal of Animal Science* 58: 725-739.
29. France J., Dukstra J., Dhanoa M.S., Baldwin R.L. (1998) Biomathematical applications in ruminant nutrition. *Journal of Franklin Institute* 335B: 241-258.
30. Frühbeck G., Gómez-Ambrosi J., Muruzábal F.J., Burrell M.A. (2001) The adipocyte: a model for integration of endocrine and metabolic signalling in energy metabolism regulation. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism* 280: E827-E847.
31. Galina C.S., Arthur G.H. (1989) Review of cattle reproduction in the tropics. Part I. Puberty and age at first calving. *Animal Breeding Abstracts*. 57: 583-590.

32. Garverick H.A., Smith M.F. (1993) Female reproductive physiology and endocrinology of cattle. *Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. 9: 223-247.
33. Gauthier D. (1983) Influence of nutrition on prepartum plasma levels of progesterone and total estrogens and postpartum plasma levels of luteinizing hormone and follicle stimulating hormone in suckling cows. *Animal Production* 37: 84
34. Gong J.G. (2002) Influence of metabolic hormones and nutrition on ovarian follicle development in cattle: practical implications. *Domestic Animal Endocrinology* 23: 229-241.
35. Gong, J.G., Bramley, T.A., Webb, P. (1993) The effect of recombinant bovine somatotrophin on ovarian follicular growth and development in heifers. *Journal of Reproduction and Fertility*. 97: 247-254.
36. Gottsch M.L., Van Kira E.A., Murdoch W.J. (2000) Tumor necrosis factor alpha up-regulates matrix metalloproteinase-2 activity in periovulatory ovine follicles: metamorphic and endocrine implications. *Reproduction and Fertility Devices*. 12: 75-80
37. Grings E.E., Hall J.B., Bellows R.A., Short R.E., Bellows S.E., Staigmiller R.B. (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.
38. Gwyne, J.T. Strauss, J.F.D. (1982) The role of lipoproteins in steroidogenesis and cholesterol metabolism in steroidogenic glands. *Endocrinology Reviews*. 3:299-329.

39. Havel P.J. (2002) Control of energy homeostasis and insuline action by adipocite hormones: leptin, acylation stimulating protein and adiponectin. *Current Opinon in Lipidology* 13: 51-59.
40. 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
41. Holroyd R.G., Arthur B.A., Mayer B.G. (1979) Reproductive performance of beef cattle in northwestern Queensland. *Australian Veterinary Journal*. 55: 257-262
42. Johnson M.E., Russell W.C., Hanson J.D. (1987) Effect of environment on forage intake of grazing steers – A model. *Nutrition Reports International* 36: 1081-1089.
43. Jolly P.D., McDougall S., Fitzpatrick L.A., Macmillan K.L., Entwistle K.W. (1995) Physiological effects of undernutrition on postpartum anoestrus in cows. *Journal of Reproduction and Fertility* (Supplement) 49: 477-492.
44. Kennedy P.M., Lowry J.B., Coates D.B., Oerlemans J. (2002) Utilisation of tropical dry season grass by ruminants is increased by feeding fallen leaf of siris (*Albizia lebbek*) *Animal Feed Science and Technology*. 96: 175-192.
45. Kinder J.E., Bergfeld E.G., Wehrman M.E., Peters K.E. Kojima F.N. (1995^b) Endocrine basis for puberty in heifers and ewes. *Journal of Reproduction and Fertility* (Suppl) 49: 393-407.
46. Kinder J.E., Bergfeld, E.G.M., Wehrman, M.E., Peters, K.E., Kojima, F.N. (1995^b) Endocrine basis for puberty in heifers and ewes. *Journal of Reproduction and Fertility*. 49: 393-407.
47. Kinder J.E., Whyte T.R., Creed A., Aspden W.J., D'Occhio M.J. (1997) Seasonal fluctuations in plasma concentrations of luteinizing hormone and progesterone in Brahman (*Bos indicus*) and Hereford-Shorthorn (*Bos Taurus*) cows grazing pastures

- at two stocking rates in a subtropical environment. *Animal Reproduction Science* 49: 101-111
48. Lalman D.L., Keisler D.H., Williams J.E., Scholljegerdes E.J., Mallet D.M. (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.
49. Lamothe-Zavaleta C., Montiel F., Fredriksson G., Galina C.S. (1995) Reproductive performance of Zebu cattle in Mexico 3. Influence of season and social interaction on the timing of expressed oestrus. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 72: 319-323.
50. 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. *Journal of Animal Science* 70: 3615-3626
51. Lucy, M.C., Collier, R.J., Kitchell, M.L., Dibner, J.J., Hauser, S.D., Krivi, G.G. (1993) Immunohistochemical and nucleic acid analysis of somatotropin receptor populations in the bovine ovary. *Biology of Reproduction*. 48: 1219-1227.
52. Lucy, M.C., Staples, C.R., Michle, F.M., Thatcher, W.W. (1991) Energy balance and size and number of ovarian follicles detected by ultrasonography in early postpartum dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 74: 473-482.
53. Mackey D.R., Sreenan J.M., Roche J.F., Diskin M.G. (1999) Effect of acute nutritional restriction on incidence of anovulation and periovulatory estradiol and gonadotrophin concentrations in beef heifers. *Biology of Reproduction* 61: 1601-1607.
54. Maffei, M.J., Halaas E., Ravussin, R.E., Pratley, R.E., Lee, G.H., Zhang, Y., Fei, H., Kim, S., Lallone, R., Ranganathan, S. (1995) Leptin levels in human and rodent:

- measurement of plasma leptin and ob RNA in obese and weight reduces subjects. *Nature Medicine*. 1: 1155-1161.
55. Mattos, R., Staples, R.Ch., William, W.T. (2000) Effects of dietary fatty acids on reproduction in ruminants. *Reviews of Reproduction* 5: 38-45
56. McShane T.M., Peterson S.L., McCrone S., Keisler D.H. (1993) Influence of food restriction on neuropeptide – Y, pro – opiomelanocortin and luteinising hormone – releasing gene expression in sheep hypothalami. *Biology of Reproduction* 49: 486-492.
57. Mendoza M.G.D., Ricalde V.R. (1996) Suplementación de bovinos en crecimiento en pastoreo. *Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco*, México, D.F.
58. Mukasa-Mugerwa E. 1989 A review of reproductive performance of female *Bos indicus* (zebu) cattle. ILCA Monografía No. 6 *International Livestock Centre of Africa* 117-125
59. Murphy M.G., Boland M.P., Roche J.F. (1990) Pattern of follicular growth and resumption of ovarian activity in post-partum beef sucker cows. *Journal of Reproduction and Fertility* 90: 523-533.
60. Murphy M.G., Enright E.J., Crowe M.A., McConell K., Spicer L.J., Boland M.P., Roche J.F.(1991) Effect of dietary intake on pattern of growth of dominant follicles during the oestrous cycle in beef heifers. *Journal of Reproduction and Fertility* 92: 333-338.
61. National Research Council (1996) Nutrient requirements of beef cattle. Seventh edition. *National Academy Press*, Washington, U.S.A. pp 242.
62. Neal H.D.St.C., Dijkstra J., Margaret G. Simulation of nutrient digestion, absorption and outflow in the rumen: Model Evaluation. *Journal of Nutrition* 122: 2257-2272.

63. Nürnberg K., wegner J., Ender K. (1998) Factors influencing fat composition in muscle and adipose tissue of faro animals. *Livestock Production Science* 56: 145-156.
64. O'Callaghan, D., Boland, M.P. (1999) Nutritional effects on ovulation, embryo development and the establishment of pregnancy in ruminants. *Animal Science*. 68: 299-314.
65. Orihuela A (2000) Some factors affecting the behavioural manifestation of oestrus in cattle: a review. *Applied Animal Behaviour Science* 70: 1-16
66. Ørskov E.R. (1999) Supplement strategies for ruminants and management of feeding to maximize utilization of roughages. *Preventive Veterinary Medicine* 38: 179-185.
67. Patterson H.H., Adams D.C., Klopfenstein T.J., Clark R.T., Teichert B. (2003) Supplementation to meet metabolizable protein requirements of primiparous beef heifers: II. Pregnancy and economics. *Journal of Animal Science* 81: 563-570.
68. Peiris H., Elliott R., Hles J.W., Norton W. (1995) Alternative management strategies for maximising productivity in beef cattle in the subtropics. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 35: 317-324.
69. Pell, J.M., Bates, P.C. (1990) The nutritional regulation of growth hormone action. *Nutrition Research Reviews*. 3: 163-192.
70. Plasse D. (1978) Aspectos del crecimiento de *Bos indicus* en el trópico Americano I. *World Review of Animal Production* 14 (4): 29-48.
71. Plasse D. (1979) Aspectos del crecimiento de *Bos indicus* en el trópico Americano II. *World Review of Animal Production* 15 (1):21-38.

72. Poppi D.P., McLennan S.R. (1995) Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of Animal Science* 73: 278-290.
73. Randel R.D. (1984) Seasonal effects on female reproductive functions in the bovine (Indian breeds). *Theriogenology* 21: 170-185.
74. Rhodes F.M., Entwistle K.W., Kinder J.E. (1996) Changes in ovarian function and gonadotrophin secretion preceding the onset of nutritionally induced anoestrus in *Bos indicus* heifers. *Biology of Reproduction* 55: 1437-1443.
75. Richards M.W., Wettemann R.P., Schoenemann H.M. (1989) Nutritional anestrus in beef cows: body weight change, body condition, luteinizing hormone in serum and ovarian activity. *Journal of Animal Science* 64: 643-653.
76. Riqueleme V.E. (1987) Suplementación energética para bovinos en pastoreo. En: Memoria del seminario internacional Suplementación para bovinos en pastoreo. González, S.M. (Ed.) *Centro de Ganadería*, Colegio de Posgraduados.
77. Roberson M.S., Stumpf T.T., Wolfe M.W., Cupp A.S., Kojima N., Perth 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. *Journal of Reproduction and Fertility* 96: 461-469.
78. Robinson, J.J. (1996) Nutrition and Reproduction. *Animal Reproduction Science*. 42: 25-34.
79. Ruiz-Cortés T, Ledoux S, Murphy B.D. (2002) El tejido graso regula la reproducción en mamíferos. *Revista Orinoquia* 6: 36-55.
80. Russell S.H., Small C.J., Stanley S.A., Franks S., Ghatei M.A., Bloom S.R. (2001) The invitro role of Tumor Necrosis Factor – Alpha and Interleukin – 6 in the Hypotalamic – Pituitary Gonadal axis. *Journal of Neuroendocrinology* 13: 296.

81. Ryan, D.P., Spoon, R.A., Griffith, M.K., Williams, G.L. (1004) Ovarian follicular recruitment , granulosa in steroidogenic potential and growth hormone, insulin like growth factor –I 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.
82. Sánchez J.M.I., Soto H. (1999) Contenido de energía estimada para el crecimiento del ganado bovino, en los forrajes del trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23: 173-178
83. Selk G.E., Wettemann R.P., Lusby K.S., Oltjen J.W., Mobley S.L., Rasby R.J., Garmendia J.C. (1988) Relationships among weight change, body condition and reproductive performance of range beef cows. *Journal of Animal Science* 66: 3153-3159.
84. Silva, J.M. (2001) Alteraciones de la esteroidogénesis en bovinos (79-87). En *Memorias del Primer Simposio Nacional de Infertilidad en la Vaca Lechera*. 29 y 30 noviembre UNAM-FMVZ. Zacatecas, Zacatecas, México.
85. 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. *Journal of Animal Science*. 75: 115-126.
86. Smith G.D., Jackson L.M., Foster D.L. (2002) Leptin regulation of reproductive function and fertility. *Theriogenology* 57: 73-86.
87. Smith, O.B., Akinbamijo, O.O. (2000) Micronutrients and reproduction in farm animals. *Animal Reproduction Science* 60-61: 549-560.
88. 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. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 5: 65-78.
89. Spicer L.J. (2001) Leptin: a possible metabolic signal affecting reproduction. *Domestic Animal Endocrinology* 21: 251-270.
90. Stagg K. (2000) Anoestrus in the post partum suckled beef cow and in the nutritionally restricted beef heifer. PhD Dissertation. *The National University of Ireland*, Dublin.
91. Stagg K., Diskin M.G., Sreenan J.M., Roche J.F. (1995) Follicular development in long-term anoestrus suckler beef cows fed two levels of energy postpartum. *Animal Reproduction Science* 38: 49-61
92. Steiner, R.A. (1996) Editorial: lords and ladies leapin' on leptin. *Endocrinology*. 137: 4533-4535.
93. Stevenson J.S., Lucy M.C., Call E.P. (1987) Failure of timed inseminations and associated luteal function in dairy cattle after two injections of prostaglandin F_{2α}. *Theriogenology* 28: 937.
94. Stonaker H.H. (1975) Beef production systems in the tropics. I. Extensive production systems on in fertile soils. *Journal of Animal Science* 41: 1218-1223.
95. Strauss, J.F.D., Schuler, L.A., Rosenblum, M.F., Tanaka, T. (1981) Cholesterol metabolism by ovarian tissue. *Advances in Lipid Research*. 18: 99-157.
96. Villarreal M., Estrada S., Bolaños J.M. (2000) Reproductive performance of Zebu heifers grazing on African stargrass (*Cynodon nlemfuensis*) pastures, with or without access to *Arachis pintoi* protein banks in the humid tropics of Costa Rica. *Tropical Agriculture* 77: 67-70

97. Webb R., Gosden R.G., Telfer E.E., Moor R.M. (1999) Factors affecting folliculogenesis in ruminants *Animal Science* 68: 257-284.
98. Webb, R., Armstrong, D.G. (1998) Control of ovarian function; effect of local interaction and environmental influence on follicular turnover in cattle: a review. *Livestock Production Science*. 53: 95-112.
99. Webb, R., Royal, M.D., Gong, J.G., Garnsworthy, P.C. (1999) The influence of nutrition on fertility. *Cattle Practice* 7:227-234
100. Weiss W.P., Conrad H.R., Pierre N.R.St. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Animal Feed Science and Technology* 39: 95-110.
101. Williams Ch.B., Bennett G.L., Keele J.W. (1995^a) Simulated influence of postweaning production system on performance of different biological types of cattle: I. estimation of model parameters. *Journal of Animal Science*. 73: 665-673.
102. Williams Ch.B., Bennett G.L., Keele J.W. (1995^b) Simulated influence of postweaning production system on performance of different biological types of cattle: II. Carcass composition, retail product, and quality. *Journal of Animal Science*. 73: 674-685.
103. Williams G.L. (2002) Using dietary fat supplementation to enhance reproductive performance in cattle (111-120) en *Memorias del IX Curso Internacional de Reproducción Bovina*. 22-24 de mayo. UNAM.-FMVZ México, D.F.
104. Yelich J.V., Wettemann R.P., Dolezal H.G., Lusby K.S., Bishop D.K., Spicer L.J. (1995) Effects of growth rate on carcass composition and lipid partitioning at puberty and growth hormone, insuline-like growth factor I, insulin,

- and metabolites before puberty in beef heifers. *Journal of Animal Science* 73: 2390-2405
105. Yelich, J.V., Wettemann, R.P., Marston, T.T., Spicer, L.J. (1996) Luteinizing hormone, growth hormone, insulin-like growth factor-L, insuline and metabolites before puberty in heifers fed to gain at two rates. *Domestic Animal Endocrinology*. 13: 325-338.
106. Zakari A.Y., Molokwu E.C., Osori D.I. (1981) Effect of season on the oestrus cycle of cows (*Bos indicus*) indigenous to northern Nigeria. *Veterinary Record* 109: 213-215.
107. Zhang Y., Proenca R., Maffei M., Barone M., Leopold L., Friedman J.M., (1994) Positional cloning of the mouse obese gene and its human homologue. *Nature* 372: 425-432.
108. Zuart Ruiz Crisósforo Antonio. (1999) Aplicación de dos modelos matemáticos para predecir cambios de peso en toretes en pastoreo en trópico húmedo. *Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Especialidad en Ganadería*. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

VI. ANEXOS.

CONCENTRADOS UTILIZADOS.

Fase 1 Citrocom® (Peletizado) Casa Dos Pinos, Costa Rica

Humedad	(max)	13.50%
Proteína 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)

Fase 2 Citrocarne® (Peletizado) Casa Dos Pinos, Costa Rica

Humedad	(max)	13.50%
Proteína Cruda	(min)	13.005
Extracto Etéreo	(min)	2.30%
Fibra Cruda	(max)	18.00%
Energía Digestible	(min)	3150 Mcal/kg
Calcio	(min – max)	0.6 – 1.2%
Fósforo	(min)	0.4%
NaCl	(min – max)	0.4 – 0.7%

Ingredientes: maíz, harina de soya, harina de semilla de algodón, semolina de arroz, salvado, salvadillo, acemite de trigo, palma africana, cascarilla de soya o cascarilla de algodón, pulpa de cítricos, melaza de caña, sal común, fosfato dicálcico, fosfato monocálcico, óxido de magnesio, flor de azufre, óxido de hierro, carbonato de cobalto, óxido de cobre, óxido de zinc, yodo (EDDI), selenito de sodio, sulfato de manganeso, tocoferol acetato (vitamina E), monensina sódica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

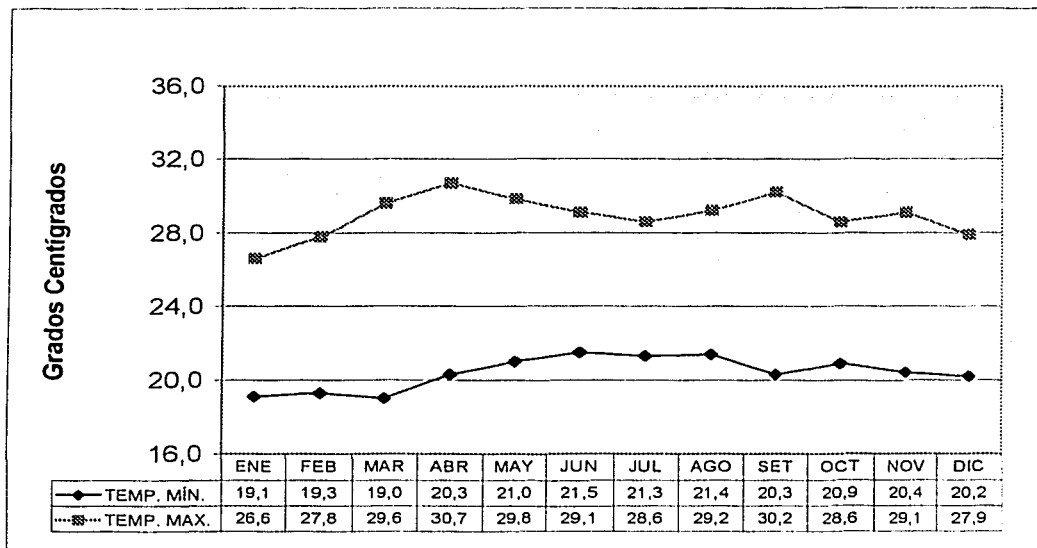
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL SUPLEMENTO MINERAL.

Para la suplementación de las sales minerales se utilizó Minerales Dos Pinos® Casa Dos Pinos, Costa Rica y su análisis nutricional es el siguiente:

Ingrediente	Mínima	Máxima
Humedad		13.50%
Calcio	19.00%	22.00%
Fósforo	17.50%	
Magnesio	0.50%	
Cobre	1.800 mg/Kg.	
Cobalto		22 mg/Kg.
Manganeso	7000 mg/Kg.	
Zinc	7000 mg/Kg.	
Yodo.	100 mg/Kg	
Hierro.	9000 mg/Kg.	
Selenio	55.00 mg/Kg	
Vitamina A	200,000 UI/Kg.	
Vitamina D	60,000 UI/Kg	
Vitamina E	900 UI/Kg.	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA DURANTE EL AÑO 2000 EN LA
ZONA DE SANTA CLARA, SAN CARLOS, ALAJUELA, COSTA RICA.**



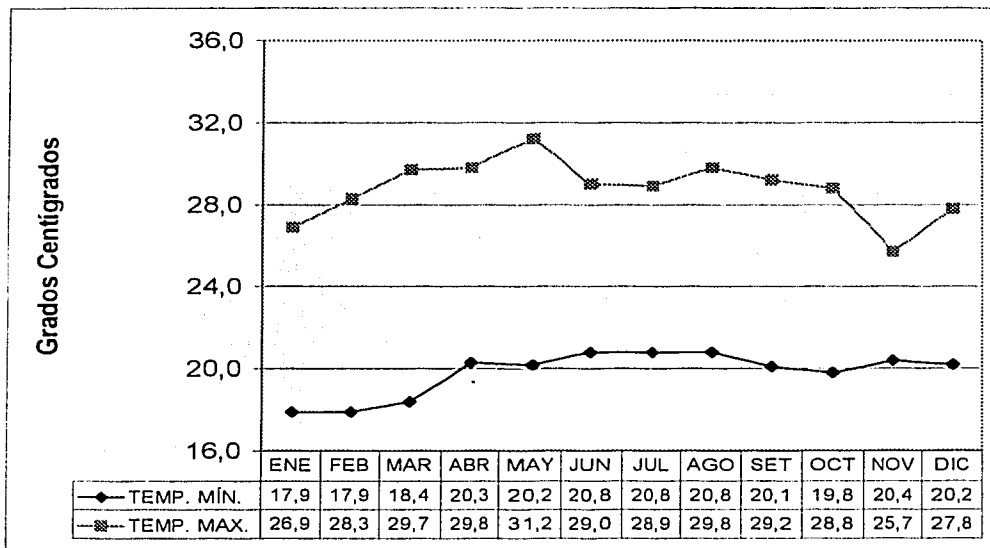
Fuente: Centro Meteorológico del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional

San Carlos, Departamento de Ciencias. Estación Número 069567

Latitud Norte 10° 22" Latitud Oeste 84° 31" Altura 160 msnm

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA DURANTE EL AÑO 2001 EN LA
ZONA DE SANTA CLARA, SAN CARLOS, ALAJUELA, COSTA RICA.**



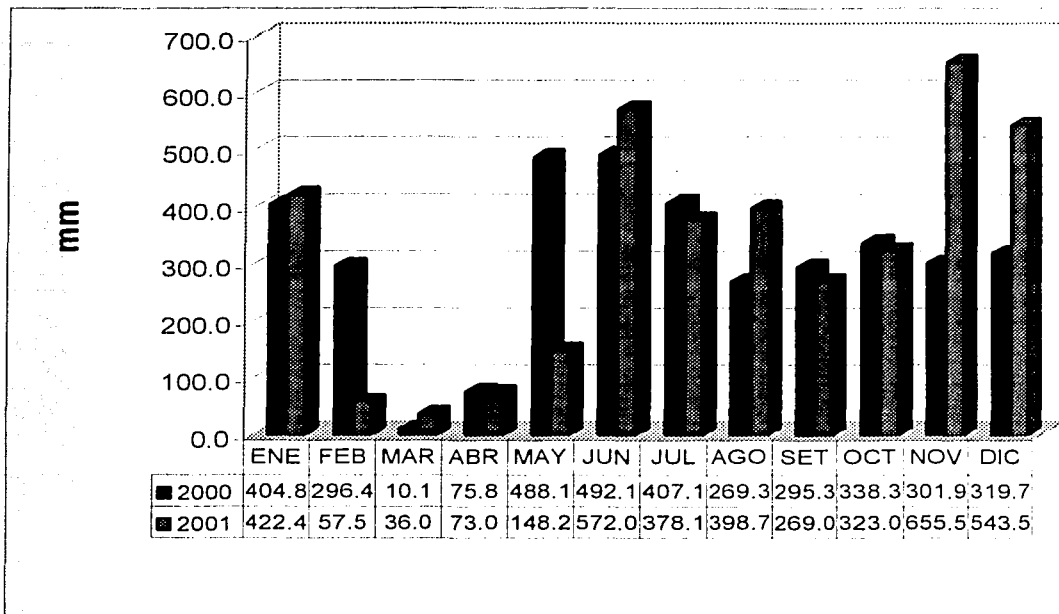
Fuente: Centro Metereológico del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional

San Carlos, Departamento de Ciencias. Estación Número 069567

Latitud Norte 10° 22" Latitud Oeste 84° 31" Altura 160 msnm

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**PRECIPITACIÓN PLUVIAL PROMEDIO ACUMULADA DURANTE LOS
AÑOS 2000 y 2001 EN LA ZONA DE SANTA CLARA, SAN CARLOS,
ALAJUELA, COSTA RICA.**



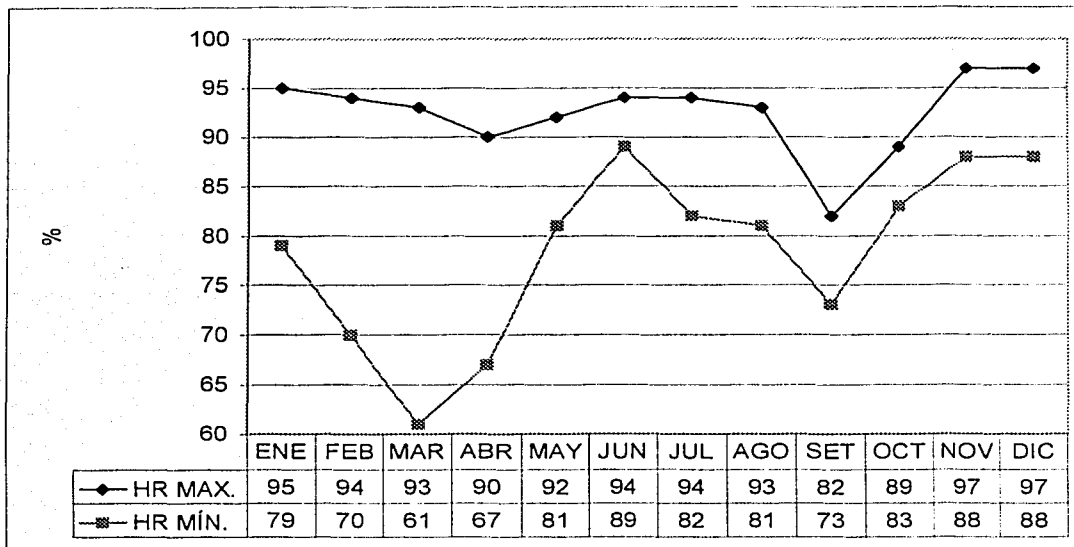
Fuente: Centro Meteorológico del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional

San Carlos, Departamento de Ciencias. Estación Número 069567

Latitud Norte 10° 22" Latitud Oeste 84° 31" Altura 160 msnm

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**HÚMEDAD RELATIVA PROMEDIO MÁXIMA Y MÍNIMA DURANTE EL
AÑO 2000 EN LA ZONA DE SANTA CLARA, SAN CARLOS, ALAJUELA,
COSTA RICA.**



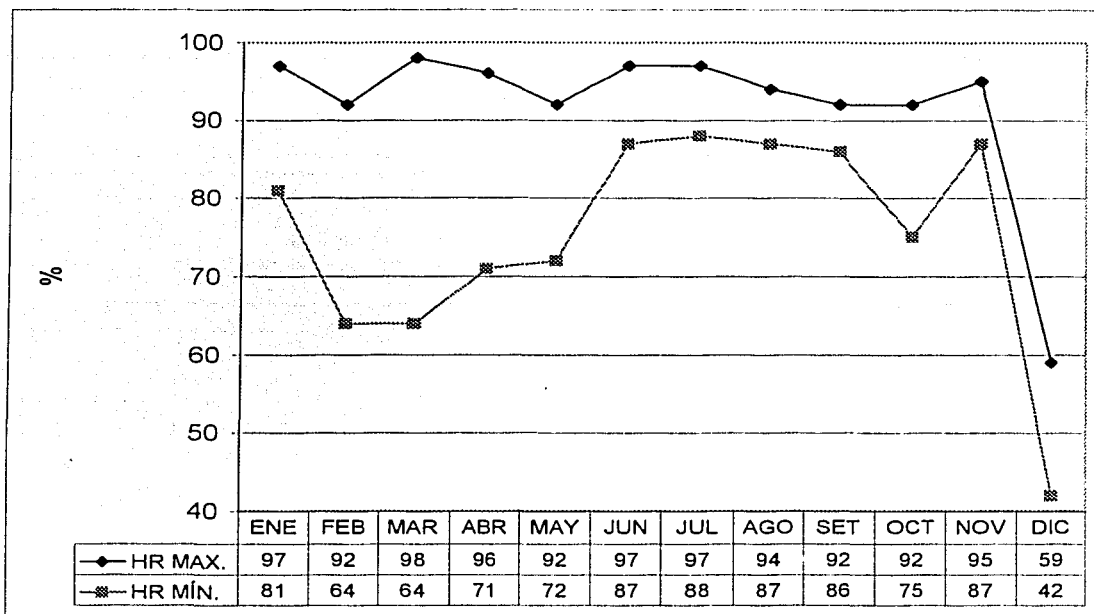
Fuente: Centro Meteorológico del Instituto Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional

San Carlos, Departamento de Ciencias. Estación Número 069567

Latitud Norte 10° 22" Latitud Oeste 84° 31" Altura 160 msnm

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**HÚMEDAD RELATIVA PROMEDIO MÁXIMA Y MÍNIMA DURANTE EL
AÑO 2001 EN LA ZONA DE SANTA CLARA, SAN CARLOS, ALAJUELA,
COSTA RICA.**



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 160 msnm

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**