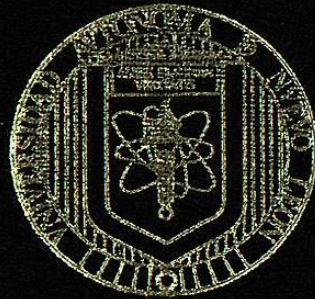


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EFECTO DE LA CONDICION CORPORAL,
LA BIOESTIMULACION Y EL CONTROL DE LA
OVULACION SOBRE EL COMPORTAMIENTO
REPRODUCTIVO EN GANADO DE CARNE
EN AGOSTADERO

POR

MARIO ALBERTO MADRIGAL ANZALDUA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS PECUARIAS
CON ESPECIALIDAD EN REPRODUCCION ANIMAL

JUNIO, 2000

TD

Z5071

FA

2000

.M32

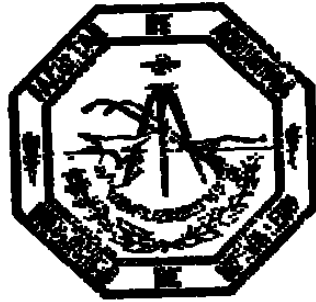


1020150640

AM

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

**FACULTAD DE AGRONOMIA
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**



**EFECTO DE LA CONDICION CORPORAL,
LA BIOESTIMULACION Y EL CONTROL DE LA
OVULACION SOBRE EL COMPORTAMIENTO
REPRODUCTIVO EN GANADO DE CARNE
EN AGOSTADERO**

POR

MARIO ALBERTO MADRIGAL ANZALDUA

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS PECUARIAS
CON ESPECIALIDAD EN REPRODUCCION ANIMAL**

JUNIO 2000

990170

TD
Z507
FA
2000
.M32



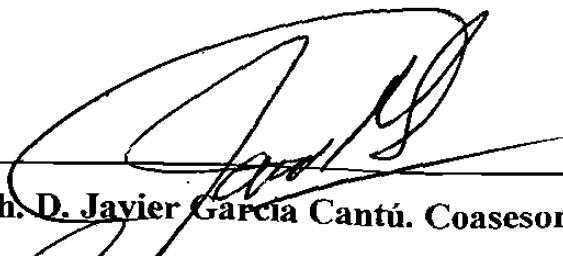
FONDO
TESIS

**EFFECTO DE LA CONDICIÓN CORPORAL, LA BIOESTIMULACIÓN Y
EL CONTROL DE LA OVULACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO
REPRODUCTIVO EN GANADO DE CARNE EN AGOSTADERO**

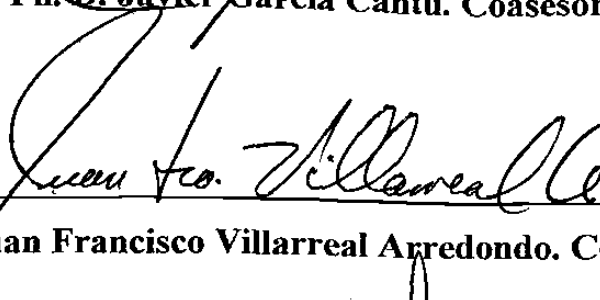
Aprobación de la Tesis:



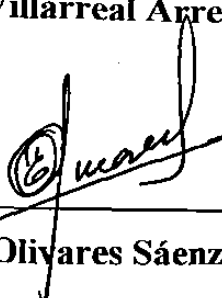
Ph. D. Javier Colín Negrete. Asesor Principal



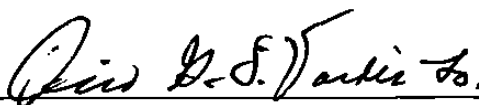
Ph. D. Javier García Cantú. Coasesor



Dr. Juan Francisco Villarreal Arredondo. Coasesor



Ph. D. Emilio Olivares Sáenz. Coasesor



**Ph. D. Ciro G. S. Valdés Lozano
Subdirector de Estudios de Postgrado**

DEDICATORIA

Con todo mi amor a mi esposa Blanca Nelly Villarreal Solís, quien me ha brindado todo su apoyo, comprensión y estímulo para recorrer esta difícil etapa de sacrificios, pero también de superación y satisfacciones por haber logrado llegar a la meta.

Con mucho cariño y amor a mis hijos Mario Alberto y Blanca Nelly, quienes son una de las razones más importantes de mi vida, y me han dado la fortaleza necesaria para el logro de todos los objetivos propuestos.

Con cariño y respeto a mis padres Bertha Anzaldúa Hernández y Mario Madrigal Guerra, quienes me inculcaron que el estudio es un medio para lograr la superación.

Con admiración y respeto a mi padrino Dr. Sigifredo Anzaldúa Hernández, quien me enseñó que con perseverancia, el hombre logra lo que se propone.

A Dios nuestro señor, quien me dio la fe y la fuerza de voluntad para llegar a la cúspide de esta etapa de superación, a pesar de las adversidades al final del camino.

AGRADECIMIENTOS

Al Ph. D. Javier Colín Negrete, asesor principal, que por su gran disposición, amplia experiencia e importantes sugerencias para el desarrollo del trabajo de campo y minuciosa revisión del escrito, hizo posible la terminación de esta tesis.

Al Ph. D. Javier García Cantú, por sus desinteresadas pero valiosas enseñanzas y el gran apoyo brindado para la realización de los análisis estadísticos.

Al Ph. D. Emilio Olivares Sáenz, que por su gran experiencia en estadística, me orientó para que los análisis estadísticos se realizaran adecuadamente.

Al Dr. C. Juan Francisco Villarreal Arredondo, por sus importantes aportaciones para la realización del trabajo de campo y valiosas observaciones en la revisión del escrito.

Al Instituto Tecnológico de Linares y a la Dirección General de Institutos Tecnológicos de la S.E.P., que con su anuencia otorgada fue posible la realización de estudios de doctorado y obtención del grado de Doctor en Ciencias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo brindado para la realización de estos estudios.

Al PAICyT, por haber proporcionado los recursos económicos para la terminación del trabajo de campo y análisis hormonales.

A la Facultad de Agronomía de la UANL, Subdirección de Estudios de Postgrado, por haberme dado la oportunidad de ingresar al programa doctoral y por el apoyo y facilidades para la realización de los trabajos de investigación.

Al C. P. Jorge Cantú Valderrama, por haber facilitado su rancho “El Mirador” en Linares, N.L., su ganado y su personal para hacer posible el desarrollo del trabajo de campo.

Al Ing. J. Generoso Caballero Caballero, catedrático del Instituto Tecnológico de Linares, por su valiosa colaboración en el manejo del ganado y colección de muestras durante el tiempo que duraron los experimentos.

Al Ph. D. D. H. Hallford, por las facilidades brindadas para los análisis hormonales, en el Laboratorio de Endocrinología y reproducción de la New Mexico State University, Las Cruces, NM.USA.

A Juany Pineda, por su gran ayuda en la elaboración de escritos, sobre todo en los inicios de programa doctoral.

A Korina López, por el apoyo brindado en la tramitación de documentación a través de mi estancia en el programa doctoral.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Mario Alberto Madrigal Anzaldúa

Candidato para obtener el grado de Doctor en Ciencias Pecuarias con especialidad en
Reproducción Animal

Datos personales:

Nacido en Cerralvo, N.L., el 19 de Febrero de 1952.

Hijo de Bertha Anzaldúa Hernández y Mario Madrigal Guerra.

Educación:

Medico Veterinario Zootecnista por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, en Julio de 1976.

Maestro en Ciencias con especialidad en Ciencia Animal por la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, en Abril de 1983.

Experiencia Profesional:

Catedrático de tiempo completo en la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (D.G.E.T.A., S.E.P.), del 1 de octubre de 1976 al 1 de septiembre de 1992; y, en el Instituto Tecnológico de Linares, D.G.I.T., del 2 de septiembre de 1992 a la fecha. Dentro de estas dependencias he desempeñado los puestos de Jefe de Sector Pecuario, Jefe de la Especialidad de Zootecnia, Jefe del Dpto. de Actividades Tecnológicas, Subdirector Académico, Presidente del Consejo Estatal de Producción de la D.G.E.T.A. en Nuevo León. Cirujano, clínico de campo y asesor técnico en explotaciones particulares.

CONTENIDO

Capítulo	Página
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE CUADROS DE APÉNDICE.....	xv
LISTA DE FIGURAS DE APÉNDICE.....	xviii
RESUMEN.....	xx
SUMMARY.....	xxii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Condición corporal al parto	4
2.1.1 Condición corporal y comportamiento reproductivo postparto en ganado de carne.	4
2.1.2 Grasa corporal y comportamiento reproductivo	9
2.1.3 Energía y función reproductiva.....	10
2.1.4 Nutrición y la función hipotalámica.....	12
2.1.5 Nutrición y la función de la pituitaria.....	12
2.1.6 Nutrición y la función ovárica.....	13
2.1.7 Mecanismos metabólicos: estado nutricional relacionado con secreción de hormona luteinizante (LH) y hormona estimulante del folículo (FSH).....	14
2.1.8 Balance endócrino.....	16
2.1.9 Energía y ciclo estrual.....	18
2.1.10 Vitamina A y cuerpo lúteo (CL).....	19
2.2 Mecanismos hormonales del período postparto.....	20
2.2.1 Mecanismos luteotrópicos.....	20
2.2.2 Hormona luteinizante (LH) y cuerpo lúteo (CL)	20
2.2.3 Control de la retroalimentación de la LH.....	21
2.2.4 Síntesis de progesterona (P ₄).....	21

2.2.5	Regulación de la síntesis de progesterona en células pequeñas y grandes.....	22
2.2.6	Control del cuerpo lúteo de la preñez.....	23
2.2.7	Mecanismos luteolíticos.....	24
2.2.8	Prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$).....	24
2.2.9	Control hormonal de las células ováricas durante el ciclo estrual: proliferación y diferenciación.....	26
2.3	Bioestimulación con toros.....	27
2.3.1	Bioestimulación con toros en el postparto y retorno al estro.	27
2.3.2	Bioestimulación y hormona liberadora de hormona luteinizante (LHRH).....	28
2.3.3	Feromonas de la orina del toro y reactivación del ciclo estrual.....	31
2.3.4	Bioestimulación con toros e inicio de la actividad cíclica en vaquillas y vacas.....	32
2.3.5	Bioestimulación, condición corporal al parto y duración del anestro postparto.....	34
2.3.6	Bioestimulación y concentración de progesterona (P_4) en el período postparto.....	34
2.3.7	Bioestimulación, edad de la vaca y concentración de progesterona... ..	35
2.3.8	Bioestimulación, raza y concentración de progesterona.....	35
2.3.9	Bioestimulación y manifestación de estros antes y después del empadre.....	36
2.3.10	Bioestimulación y amamantamiento sobre manifestación de estros y gestación	36
2.4	Destete temporal y comportamiento reproductivo.....	36
2.4.1	Amamantamiento como un regulador de la reproducción postparto....	37
2.4.2	Efecto del amamantamiento sobre la secreción hormonal postparto... ..	38
2.4.3	Amamantamiento, neuropéptido Y (NPY) y modulación de hormona luteinizante (LH).....	39
2.4.4	Destete temporal y retorno al estro.....	40
2.5	Sincronización de estros y control de la ovulación.....	43

2.5.1	Prostaglandina F _{2α} y hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) en la sincronización de estros y ovulación.....	43
2.5.2	Progestágenos en la sincronización de estros y ovulación.....	45
2.5.3	Progestágenos y hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) en la sincronización de estros y ovulación.....	48
2.5.4	Progestágenos y prostaglandina en la sincronización de estros y ovulación.....	49
2.5.5	Progestágeno, hormona liberadora de gonadotropinas y prostaglandinas en la sincronización de estros y ovulación.....	49
2.5.6	Combinación de progestágeno, prostaglandina y gonadotropina coriónica humana (hCG) en la sincronización de estros y ovulación.....	50
2.5.7	Progestágeno, prostaglandina y agonista de LH-RH en la sincronización de estros y ovulación.....	51
2.5.8	Progestágeno, prostaglandina y PMSG en la sincronización de estros y ovulación.....	51
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	53
3.1	Experimento I. Efecto de la condición corporal, la bioestimulación y el destete temporal sobre la eficiencia reproductiva del ganado de carne en agostadero.	53
3.1.1	Establecimiento del experimento.....	53
3.1.2	Toros bioestimuladores.....	54
3.1.3	Asignación de tratamientos.....	54
3.1.4	Manejo del ganado.	56
3.1.5	Condición corporal.	57
3.1.6	Peso corporal de las vacas.....	58
3.1.7	Manejo de becerros.....	58
3.1.8	Muestreo sanguíneo.	59
3.1.9	Preparación de muestras.....	59
3.1.10	Análisis hormonal de las muestras.....	60
3.1.11	Palpacion de ovarios.	60
3.1.12	Deteccion de estros.	60

3.1.13	Diagnóstico de gestación.....	61
3.2	Experimento II. Efecto de la sincronización de estros y la ovulación sobre las tasas de gestación en ganado de carne en agostadero	61
3.2.1	Establecimiento del experimento.	61
3.2.2	Asignación de los tratamientos.....	61
3.2.3	Protocolo de tratamientos.....	63
3.2.4	Manejo del ganado.	64
3.2.5	Muestreo sanguíneo.	65
3.2.6	Detección de estros.	65
3.2.7	Diagnóstico de gestación.	66
3.2.8	Análisis estadístico.....	66
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	68
4.1	Experimento IA. Efecto de la condición corporal y la bioestimulación sobre la concentración de progesterona y eventos reproductivos en ganado de carne en agostadero.....	68
4.1.1	Niveles de progesterona en el período postparto, en 24 vacas (30% de cada T).....	68
4.1.1.1	Concentración de progesterona por efecto de la condición corporal.	68
4.1.1.2	Concentración de progesterona por efecto de la bioestimulación.....	71
4.1.1.3	Concentración de progesterona por efecto de la interacción condición corporal.bioestimulación con toros (P ₄ , CC-T).	75
4.1.1.4	Correlación de variables con concentración de progesterona.....	81
4.1.2	Cuerpo lúteo y ciclo estrual.	84
4.1.2.1	Condición corporal.....	84
4.1.2.2	Bioestimulación (CT, ST).....	86
4.1.2.3	Destete temporal.....	87
4.1.2.4	Interacción condición corporal-bioestimulación con toros.	88

4.1.2.5	Interacción condición corporal-destete temporal.	90
4.1.2.6	Interacción bioestimulación con toros-destete temporal....	92
4.1.2.7	Interacción condición corporal - bioestimulación con toros – destete temporal.	92
4.2	Experimento IB. Efecto de la condición corporal, la bioestimulación y el destete temporal sobre los eventos reproductivos del ganado de carne en agostadero.....	95
4.2.1	Inicio de la actividad cíclica postparto por efecto de la condición corporal al parto y la bioestimulación con toros.....	95
4.2.1.1	Desarrollo del primer cuerpo lúteo postparto.	95
4.2.1.2	Manifestación de estros.....	99
4.2.1.3	Gestaciones al primer servicio y al final del empadre de 60 días. ...	102
4.3	Experimento II. Efecto de la sincronización de estros y la ovulación sobre las tasas de gestación en ganado de carne en agostadero.....	105
5.	CONCLUSIONES	109
6.	LITERATURA CITADA.....	111
7.	APÉNDICE.....	132

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1.- Efecto de la condición corporal sobre la concentración de progesterona (ng/mL) en vacas.....	69
2.- Efecto de la bioestimulación en la concentración de progesterona (ng/mL) en vacas.....	72
3.- Efecto de la condición corporal al parto y la bioestimulación en la concentración de progesterona (ng/mL) en vacas.....	76
4.- Correlación entre concentración de progesterona postparto en el suero sanguíneo y edad de la vaca (EV), bioestimulación con toros (T), condición corporal al parto (CCP), condición corporal al cuerpo lúteo (CCCL), días del parto al primer cuerpo lúteo (DPCL), ganancia diaria del becerro (GDB) y peso del becerro al estro (PBE)...	83

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1.- Efecto de la condición corporal en vacas en la concentración de progesterona > 1.0 ng/mL.....	70
2.- Efecto de la bioestimulación, en la concentración de progesterona, en vacas.....	73
3.- Efecto de la bioestimulación toros en el acumulado de vacas con concentración de progesterona > 1.0 ng/mL.....	74
4.- Efecto de la condición corporal y la bioestimulación en la concentración de progesterona en vacas.....	77
5.- Efecto de la condición corporal y la bioestimulación, en la concentración de progesterona, en vacas (semana 6).....	78
6.- Efecto de la condición corporal y la bioestimulación, en la concentración de progesterona, en vacas (semana 8).....	78
7.- Efecto de la condición corporal y la bioestimulación, en la concentración de progesterona, en vacas (semana 11).....	80
8.- Efecto de la condición corporal y la bioestimulación, en la concentración de progesterona, en vacas (semana 11).....	80
9.- Progresivo de vacas con concentración de progesterona > 1.0 ng/mL, bajo diferente condición corporal y bioestimulación.....	82
10.- Efecto de la diferente condición corporal de vacas al parto en el tiempo de desarrollo del primer cuerpo lúteo detectable postparto.....	84
11.- Efecto de la condición corporal y la bioestimulación sobre el intervalo parto-1er. cuerpo lúteo postparto, en vacas.....	90
12.- Efecto de la interacción condición corporal-destete temporal, sobre	

los intervalos parto-cuerpo lúteo (IPCL), y parto-estro (IPE), en vacas.....	91
13.- Efecto de la interacción condición corporal-bioestimulación-destete temporal, sobre los intervalos parto-cuerpo lúteo (IPCL) y del parto-estro (IPE), en vacas	93
14.- Efecto de la interacción condición corporal-bioestimulación-destete temporal, sobre el porcentaje de gestaciones al primer servicio por IA y al final del empadre de 60 días, en vacas.....	94
15.- Efecto de la condición corporal, la bioestimulación y su interacción, en el tiempo de desarrollo del primer cuerpo lúteo postparto, en vacas.....	96
16.- Efecto de la condición corporal, la bioestimulación y su interacción, en el desarrollo del primer cuerpo lúteo postparto, en vacas a diferentes períodos postparto.....	98
17.- Efecto de la condición corporal, la bioestimulación y su interacción, sobre el intervalo parto-primer estro postparto en vacas.....	100
18.- Efecto de la condición corporal, la bioestimulación y su interacción, en la manifestación del primer estro postparto, en vacas a diferentes períodos....	101
19.- Efecto de la interacción condición corporal-bioestimulación-destete temporal, en vacas, sobre la gestación (G) al primer servicio (IA) y al final del empadre de 60 días, en vacas.....	103
20.- Efecto de los tratamientos para sincronización y control de la ovulación, sobre la concentración de progesterona en el suero sanguíneo, en vacas.....	107

LISTA DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro	Página
A1. Vacas que presentaron concentración de progesterona mayor de 1.0 ng/mL, de la semana 3 a la 12 postparto (% acumulado).....	133
A2. Concentración (ng/mL) de progesterona por vaca, de la semana 3 a la 12 postparto.....	134
A3. Concentración (ng/mL) de progesterona por vaca, de la semana 13 a la 24 postparto.....	135
A4. Medias (por factores, n= 12) de concentración de progesterona (P ₄) ajustadas por las covariables: edad de la vaca, condición corporal al parto, condición corporal al cuerpo lúteo, ganancia diaria de peso del becerro al estro, de la semana 3 a la 12 postparto.....	136
A5. Concentración (ng/mL) de progesterona (P ₄) por efecto de la condición corporal al parto (CCP), de la semana 3 a la 12 postparto.....	137
A6. Concentración de progesterona (P ₄) por efecto de la condición corporal al presentarse el primer cuerpo lúteo (CCCL), de la semana 3 a la 12 postparto.	138
A7. Concentración (ng/mL) de la progesterona (P ₄) por efecto de los días del parto a la formación del primer cuerpo lúteo (DPCL), de la semana 3 a la 12 postparto.....	139
A8. Días del parto a la formación del primer cuerpo lúteo correspondientes a la condición corporal al parto (CCP).....	139
A9. Concentración (ng/mL) de progesterona (P ₄) por efecto de la ganancia diaria diaria de peso del becerro (GDPB), de la semana 3 a la 12 postparto.....	140

A10. Concentración de progesterona (P ₄) relacionada con el peso del becerro al estro (PBE), de la semana 3 a la 12 postparto.....	141
A11. Efecto de la condición corporal alta (CCA) o baja (CCB) al parto, al cuerpo lúteo (CL), al empadre, días del parto al CL y al estro y el % de preñez al primer servicio y al final de un empadre de 60 días.....	142
A12. Efecto de la bioestimulación con toros (CT) y sin toros (ST) en la condición corporal al parto, al cuerpo lúteo (CL) y al empadre, días del parto al CL y al estro y % de preñez al 1er. servicio y al final del empadre de 60 días.....	142
A13. Efecto del destete temporal (CD) y sin destete (SD) y de la condición corporal al parto, al cuerpo lúteo (CL) y al empadre, días del parto al CL y al estro y % de preñez al primer servicio y al final de un empadre de 60 días.....	143
A14. Efecto de la interacción de los factores condición corporal (CCA y CCB) x bioestimulación con toros (CT y ST) al parto, al cuerpo lúteo (CL) y al empadre, días del parto al CL y al estro y % de preñez al primer servicio y al final de un empadre de 60 días.....	143
A15. Efecto de la interacción de los factores condición corporal (CCA y CCB) x destete temporal (CD y SD) al parto, al cuerpo lúteo (CL) y al empadre, días del parto al CL y al estro y % de preñez al primer servicio y al final de un empadre de 60 días.....	144
A16. Efecto de los factores bioestimulación con toros (CT y ST) x destete temporal (CD y SD) en la condición corporal al parto, al cuerpo lúteo (CL) y al empadre, días del parto al CL y al estro y % de preñez al primer servicio y al final de un empadre de 60 días.....	144
A17. Efecto de la interacción de 3 factores: condición corporal (CCA y CCB), bioestimulación con toros (CT y ST) y destete temporal (CD y SD) en la condición corporal al parto, al cuerpo lúteo (CL) y al empadre, días del parto al CL y al estro y % de preñez al primer servicio y al final de un empadre de 60 días.....	145
A18. Correlación entre parámetros que afectan el ciclo reproductivo de	

las vacas de carne, en este estudio.....	146
A19. Correlaciones entre las diferentes variables consideradas en la sincronización de estros y control de la ovulación.	147
A20. Condición corporal y concentración de progesterona (ng/mL) en el suero sanguíneo (medias de 5 tratamientos, n= 14) en vacas en sincronización de estros y control de la ovulación.....	148
A21. Concentración de progesterona en el suero a los 60 días de la inseminación artificial	149
A22. Concentración de progesterona en el suero a los 60 días del inicio del empadre por efecto de la interacción gestación-condición corporal.....	149
A23. Horas al estro después de retirados los implantes de norgestomet.....	150
A24. Gestaciones por efecto de los tratamientos a la inseminación artificial y al empadre de 60 días.....	150
A25.- Calendarización de las actividades realizadas a los tratamientos hormonales durante el experimento II.....	151

LISTA DE FIGURAS DEL APÉNDICE

Figura	Página
A1. Efecto de la condición corporal (alta, CCA o baja, CCB) y bioestimulación con toros (con toros, CT o sin toros, ST) en la concentración de P ₄ a la semana 7 postparto.....	152
A2. Efecto de la condición corporal alta (CCA) o baja (CCB) y bioestimulación con toros (CT) o sin toros (ST) en la concentración de P ₄ en la semana 9 postparto.....	152
A3. Efecto de la condición corporal alta (CCA) o baja (CCB) y bioestimulación con toros (CT) o sin toros (ST) en la concentración de progesterona en la décima semana postparto.....	153
A4. Efecto de la edad de la vaca, en la concentración de progesterona en el suero, de la semana 3 a la 12 postparto.....	154
A5. Efecto de la edad de la vaca en la variación de la condición corporal del parto al primer cuerpo lúteo postparto.....	155
A6. Condición corporal al parto (rangos y medias) en los grupos formados por los factores condición corporal, bioestimulación y por interacción de los dos factores.	155
A7. Condición corporal al cuerpo lúteo (rangos y medias) en los grupos formados por los factores condición corporal, bioestimulación y por la interacción de los dos factores.....	156
A8. Condición corporal al inicio del empadre (rangos y medias) en los grupos formados por los factores condición corporal, bioestimulación y por la interacción de los dos factores.	156
A9. Efecto de la interacción condición corporal • bioestimulación con toros en los días del parto a la formación del primer cuerpo lúteo.....	157
A10. Efecto de la interacción condición corporal • bioestimulación con toros en los días del parto al primer estro.....	157

A11. Efecto de los factores condición corporal, bioestimulación con toros y destete temporal en los porcentajes de gestación al primer servicio (IA) y al final del empadre de 60 días.....	158
A12. Efecto de la interacción de dos de los tres factores, condición corporal, bioestimulación y destete temporal, en los porcentajes de gestación al primer servicio (IA) y al final del empadre de 60 días.....	158
A13. Efecto de la interacción condición corporal • bioestimulación con toros al primer servicio (IA) y en el empadre de 60 días (GT) en la tasa de gestación.	159
A14. Efecto de tratamientos para la sincronización y control de la ovulación en la concentración de progesterona en el suero sanguíneo.....	159

RESUMEN

Mario Alberto Madrigal Anzaldúa

Fecha de graduación: Junio del 2000

Candidato para el grado de Doctor en Ciencias Pecuarias
con especialidad en Reproducción Animal

Título del estudio: Efecto de la condición corporal, la bioestimulación y el control de la ovulación sobre el comportamiento reproductivo en ganado de carne en agostadero.

Número de páginas: 159

Área de Estudio: Ciencias Pecuarias. Reproducción Animal

Propósitos y Métodos de Estudio: Uno de los principales problemas del criador de ganado de carne en agostadero a nivel nacional y posiblemente mundial es la baja eficiencia reproductiva resultante de los bajos porcentajes de pariciones y prolongados períodos de anestro postparto que se agravan en los años de sequía, dificultando los programas de empadre natural o de inseminación artificial (IA) para el mejoramiento genético. Los objetivos del presente trabajo fueron: 1. Determinar el efecto de: a) la condición corporal al parto, b) la presencia de toros estimuladores, y c) el destete temporal, sobre la duración del período de anestro postparto y la tasa de preñez al primer servicio (IA) y al final de un período de empadre de 60 d, y 2. evaluar el efecto de diferentes tratamientos con hormonas exógenas, para la sincronización de estros y control de la ovulación sobre la tasa de preñez al primer servicio y en un empadre de 60 d.

En el primer experimento, con el objeto de evaluar la eficiencia reproductiva del ganado de carne en agostadero, se utilizaron 80 vacas Simmental de 3 a 7 años de edad. Cuarenta fueron de condición corporal alta (CCA, 6.5 en escala de 1 a 9) y 40 de condición corporal baja (CCB, 4.21), asignando los tratamientos en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2X2X2. Los factores fueron CC (A o B), con o sin toro con pene bloqueado (CT o ST) y con o sin destete temporal (CD o SD). Las vacas que recibieron la bioestimulación con toros fueron mantenidas con estos desde el día 15 postparto hasta el inicio del empadre con la IA a los 80 días de que parió la última vaca. Se tomaron muestras de sangre para la evaluación de progesterona (P_4) a partir de la segunda semana postparto para determinar el inicio de la actividad cíclica del ovario. A 67 días después del parto, todas las vacas fueron sincronizadas con norgestomet + valerato de estradiol (Syncromate-B), inseminándose entre las 48 y 52 horas postexplante. El destete temporal se realizó por 72 h, iniciando 24 h antes del explante. Los toros sementales permanecieron con las vacas durante 45 d a partir del día 15 después de la IA.

En el segundo experimento, con el objeto de evaluar diferentes programas hormonales para la sincronización de estros e inducir la ovulación en vacas que quedaron vacías en el empadre del experimento I, se establecieron 5 tratamientos en un diseño de bloques al azar, con 14 repeticiones en cada uno. Se utilizaron diferentes combinaciones con norgestomet + valerato de estradiol, prostaglandina F2 alfa ($PGF_{2\alpha}$), gonadotropina coriónica humana (hCG) y gonadotropina de suero de yegua preñada (PMSG). Las vacas no estaban amamantando y tenían una condición corporal de 5 a 7 ($6.1 \pm .5$, en escala de 1 a 9).

Contribuciones y conclusiones: La eficiencia reproductiva del ganado se puede mejorar con un manejo adecuado del pastizal, para mantener las vacas en buena condición corporal; bioestimulándolas con toros en el postparto y realizando un destete temporal al iniciar la época de empadre, la cual no debe ser mayor de 60 d. En el experimento I, la condición corporal al parto (CCP) fue el principal factor que afectó la actividad reproductiva de la vaca. Las vacas con una buena CCP tuvieron un período de anestro postparto más corto que las vacas con una baja CCP. Las vacas con CCA (6.4)

empezaron a ciclar a partir de la semana 6 (25%) y para la semana 10 cicló el 100%; mientras que las vacas con CCB (4.1) iniciaron su actividad ciclica a partir de la semana 11 (17%), y para la semana 12 solamente cicló el 33% ($P < 0.01$). La concentración de P_4 por arriba de 1 ng/mL en el postparto fue indicativo del inicio de la actividad ciclica de la vaca, concordando con el primer cuerpo lúteo detectado por palpación rectal y unos días más tarde con la manifestación de estro. El efecto de la bioestimulación con toros sobre el inicio de la actividad ciclica en el postparto no fue tan manifiesto como el de la condición corporal. En la semana 6 postparto cicló un 25% de las vacas bioestimuladas con toro y para la semana 12 el 75% estaba ciclando y sin bioestimulación solamente cicló el 50% de las vacas.

Las vacas con CCA•CT tuvieron un período de anestro de 58 ± 6 d y las vacas con CCA•ST 68 ± 8 d, CCB•CT, 97 ± 10 d y CCB•ST 120 ± 11 d ($P < 0.01$). Las vacas con CCA•CT tuvieron un anestro 62 d más corto que vacas con CCB•ST ($P < 0.01$). El efecto de la bioestimulación es más manifiesto en vacas con CC media o baja. En vacas con CCA•CT el anestro duró 10 d menos que en vacas con CCA•ST, Las vacas con CCB•CT tuvieron un anestro 23 d más corto que las vacas con CCB•ST.

La condición corporal al inicio del empadre fue de 5.3 para las vacas con CCA y de 4.3 para las vacas con CCB. Las tasas de gestación a la IA fue de 46 vs. 24%, respectivamente, para vacas con CCA y CCB. La tasa de gestación en el empadre de 60 d fue de 78 y 53%, respectivamente, para vacas con CCA y CCB. Las vacas con bioestimulación tuvieron mayor porcentaje de gestación a la IA que las que no fueron bioestimuladas (46 vs. 25%), teniendo también mayor porcentaje de gestación en el empadre de 60 d (73 vs. 53%). Más vacas con destete temporal quedaron gestantes a la IA y al final del empadre, que las que no tuvieron destete temporal (41 vs. 31% y 70 vs. 61%). Las vacas del grupo con CCA•CT•CD tuvieron el porcentaje de preñez más alto al final del período de empadre (74%) y el más bajo fue para las vacas con CCB•ST•SD (27%).

En el segundo experimento, no se observó diferencia significativa ($P > 0.05$) entre tratamientos en la manifestación de estros, tasa de gestación al primer servicio y gestación total en un empadre de 60 d. Los porcentajes de gestación a la IA fueron de 71.4, 64.3, 71.4, 57.1 y 64.3, respectivamente para los tratamientos del 1 al 5. Los porcentajes de gestación al final del empadre de 60 d fueron de 100, 85.7, 100, 85.7 y 85.7, respectivamente, para los tratamientos del 1 al 5.

En general, el comportamiento reproductivo de las vacas en todos los tratamientos fue muy bueno, posiblemente debido a que en la época en que se realizó el experimento hubo buena disponibilidad de forraje, manteniendo la mayoría de las vacas una buena condición corporal, favoreciendo con ello la manifestación de estros después de la sincronización con norgestomet + valerato de estradiol, sin importar los tratamientos adicionales con otras hormonas.

Firma del Asesor Principal: _____

SUMMARY

Purpose and methods of this study. One of the main problems of beef cattle growers, probably at national and/or world level could be reproductive efficiency. It includes lower rates of calving, longer anoestrus postpartum intervals, sometimes due to severe droughts. For instance natural matting and/or AI programs for genetic improvement could be disrupted. Therefore, the objectives for this study were to determine the effect of: a) body condition at parturition, b) "bull effect" or biostimulation with bulls, and c) temporal weaning, over anoestrus postpartum interval duration, rate of pregnancy due to first AI service and at the end of 60 d matting period, with bulls, as a total pregnancy.

Experiment 1 was done to evaluate cattle grazing reproductive efficiency, with 80 Simmental beef cows, 3 to 7 years old. Forty cows were High Body Condition (HBC, 6.4 average from scale 1 to 9), and forty cows Low Body Condition (HBC, 4.2 average). Cows were randomly assigned to treatments (n= 10) under factorial arrangement of 2 x 2 x 2. Factors were BC (H or L), with stimulation (B) or without it (O), and with temporal weaning (W) or without it (o). Therefore treatments were HBCBW, HBCBo, HBCOW, HBCOo, LBCBW, LBCBo, LBCOW, and LBCOo. Cows treated with bull stimulation were joined with bulls since 15 d postpartum until starting AI. Blood serum samples were collected to be tested by RIA, for P₄, in a weekly basis, since second wk after parturition. At day 67 after parturition, the whole group of 80 cows were oestrus synchronized with Norgestomet + Estradiol valerate (Synchromate B) and were AI between 48 to 52 h after explanted. Temporal weaning was done 24 h before explanted, for as long as 72 h. To cover open cows or repeating heat cows, normal bulls were incorporated to this study 15 days after AI, for as long as 45 d.

Experiment 2 was done with the objective of evaluate several hormonal programs to synchronize oestrus and induce ovulation in empty or open cows from the last matting season. Cows were randomly blocked to one of five different treatments (n= 14). Treatments were combinations of Norgestomet plus Estradiol valerate with Prostaglandin F_{2α}, or Human Gonadotropin, and /or Pregnant Mare Serum Gonadotropin.

Contributions and conclusions.- Reproductive efficiency in cattle could be improved with an adequate grazing management, to maintain cows in good body condition, with biostimulation with bulls immediately after parturitions, and with temporal weaning 72 h before starting matting period which is recommended no more than 60 d long. From Experiment 1, body condition at parturition was the main factor affecting cows reproductive capacity. Cows with High BC at parturition of 6.4 had shorter anoestrus postpartum interval, than cows with Lower BC of 4.2 at parturition. Cows with High BC of 5.3 at the beginning of matting period started cycling on wk 6 (25%) and all of them reached cycling at wk 10 (100%). On the other hand cows with Low BC, 4.2 at the beginning of the matting period started cycling on wk 11 (17%), and on wk 12, only 33% did it (P< 0.01). P₄ concentration > 1 ng. mL⁻¹ was indicative of cows starting cyclicity in the anoestrus postpartum, confirmed by first CL rectal palpated, and days later by standing heat. Biostimulation with bulls effect was not so evident, as BC did, in restarting cows cyclical activity. On wk 6 postpartum 25% cows bull stimulated were cycling and on wk

12, 75% cows were cycling, although cows without bull stimulation only 50% cycled at that time. HBCB cows had anoestrus period of 58 ± 6 d ($P < 0.01$); cows with HBCO had an anoestrus period of 68 ± 8 d. Cows LBCB had 97 ± 10 d of anoestrus period and cows LBCO just 120 ± 11 d. Cows HBCB had an anoestrus postpartum interval 62 d shorter than cows HBCO. Cows HBCB had an anoestrus postpartum interval 23 d shorter than cows HBCO. Body condition at the beginning of the matting season was 5.3 in HBC cows and 4.2 in LBC cows.

Rate of pregnancy at AI service in HBC cows was 46%, but for LBC cows was only 24%. Rate of pregnancy at the end of 60 d matting period was 78% in HBC cows but in LBC cows only 53%. Therefore, with biostimulation HBC cows were better than LBC cows for getting pregnant at AI, and at 60 d matting period. Rate of pregnancy at AI service in cows bull stimulated was 46%, but in cows not stimulated only 25%. Rate of pregnancy at the end of matting period was 73% for cows bull stimulated, when cows without bull stimulation were only 53% pregnant. Rate of pregnancy at AI service in cows with temporal weaning was 41%, when cows without temporal weaning 31%, and at the end of the matting period 70% and 61%, respectively., for cows with or without temporal weaning. Finally, cows HBCBW where higer rate of pregnancy at the end of the matting period of 60 d (74%), although cows LBCOo were lower rate of pregnancy (27%).

From the second experiment there were not difference between ($P > 0.05$) treatments in standing heat manifestation, rate of pregnancy due to AI and total rate of pregnancy at the end of 60 d matting period. Pregnancy due to AI were 71.4, 64.3, 71.4, 57.1 and 64.3%, for treatments 1 to 5, respectively. Pregnancy at the end of the 60 d matting period were 100, 85.7, 100, 85.7, and 85.7% for treatments 1 to 5, respectively.

In conclusion, reproductive behavior in all treatment cows was very good, probably due to good range condition, with enough forage available. Therefore, cows were in good BC, favoring cyclicity and heat development after Norgestomet + Estradiol valerate synchronization, no matter additional hormonal combination treatments.

1. INTRODUCCION

El éxito económico de una explotación de ganado de carne es la eficiencia reproductiva, siendo el ideal de todo ganadero obtener una cría de cada vaca reproductora por año. La reproducción es el factor limitante que regula la eficiencia del ganado de carne productor de becerros en Estados Unidos (Dziuk y Bellows, 1983). Uno de los problemas principales con los que se enfrenta el productor de ganado de carne en agostadero a nivel nacional y probablemente a nivel mundial es el bajo porcentaje de pariciones puesto que sus ingresos dependen de las crías destetadas cada año.

La reproducción del ganado es afectada por varios factores externos entre los que se encuentran la nutrición, la lactancia, el manejo y el clima.

La nutrición es probablemente el factor que más incide sobre los procesos reproductivos. Los nutrientes deben cubrir las necesidades de mantenimiento y además las de producción de acuerdo a la etapa fisiológica en que se encuentre la vaca. La deficiencia o el exceso de nutrientes tales como energía, proteína, vitaminas y minerales es detrimental para la salud del animal y para la reproducción. Las vacas en el último tercio de la preñez y mantenidas en confinamiento, pueden recibir una ración balanceada de acuerdo a las necesidades de su mantenimiento y de la gestación hasta el momento del parto, y posteriormente para la producción de leche para la alimentación del becerro. La vaca debe llegar al parto con un moderado grado de gordura. En el periodo postparto la vaca entra en una etapa de balance energético negativo en el cual pierde peso, y requiere un balance energético positivo para que presente el estro, la ovulación y quede preñada nuevamente.

El ganado de cría para la producción de becerro comercial se explota en praderas inducidas de temporal y en agostadero. siendo difícil en estas condiciones determinar el consumo de

nutrientes, como en el caso de los animales en confinamiento. Se puede considerar el grado de condición corporal como un instrumento para monitorear a los animales y determinar su estado de nutrición, tomando en cuenta los depósitos de grasa principalmente sobre las costillas, base de la cola, región lumbar y pélvica. La condición corporal es el indicador más confiable del estado de nutrición de la vaca que el peso corporal (Houghton *et al.*, 1990).

Las zonas áridas y semiáridas del norte de México ocupan aproximadamente el sesenta por ciento del territorio nacional, en las cuales se explota la ganadería bajo un sistema extensivo cuya finalidad principal es la producción de becerros al destete. Estas zonas se caracterizan por sus cortos períodos de producción de forraje, que se ven afectadas por sequías prolongadas. Bajo estas condiciones el ganado pierde mucho peso y condición corporal, alargándose el período de anestro postparto. La disponibilidad de energía y proteína decrece en el invierno, cuando los pastos entran en estado de dormancia y las hojas de los arbustos ramoneables se caen. En esta época del año las vacas están próximas al parto o pariendo, debiendo quedar gestantes al inicio de la primavera. La sobrecarga de animales en los potreros, la falta de divisiones, la carencia de suplementación de minerales y todas las vitaminas, especialmente A, D y E, y las enfermedades infecciosas y parasitarias influyen en el grado de condición corporal de las vacas, y como consecuencia en la reproducción.

Las vacas lactantes subalimentadas tienen períodos muy largos de inactividad ovárica. La función reproductiva postparto de la vaca depende de la recuperación corporal en la última fase del estado de preñez, del inicio del desarrollo folicular, de la ocurrencia de estros con ovulación y de la adecuada duración de la vida del cuerpo lúteo para el reconocimiento maternal de la preñez (Malven, 1984). Los mecanismos nutricionales controlan la actividad ovárica, al parecer por ejercer un efecto sobre el hipotálamo, la glándula pituitaria o el ovario (Entwistle, 1983). Como resultado, la subalimentación de las vacas puede suspender la actividad ovárica, presentando un estado de anestro nutricional.

Los costos de suplementación de alimento para mantenimiento de las vacas en el invierno son altos, por lo que la bioestimulación de las vacas para inducir las al estro y la ovulación,

utilizando toros con pene desviado o bloqueado, toros vasectomizados o vacas androgenizadas, podría ser una práctica útil para mantener un óptimo potencial reproductivo y reducir los costos de alimentación invernal (Burns y Spitzer, 1992)

En la duración del período postparto posiblemente influye el amamantamiento del becerro. En los primeros tres meses de nacido, sus necesidades nutricionales las cubre principalmente la leche materna (Church, 1974). Otros factores que afectan la eficiencia reproductiva son: a) una inadecuada proporción vacas - toro, b) mantener las vacas con los toros sementales formando un solo grupo, y c) carecer de un período de empadre bien definido en la época más apropiada. En programas de inseminación artificial, una deficiencia en la detección de estros, y en la aplicación y manejo del semen afectan igualmente la respuesta reproductiva.

Considerando lo anterior, los objetivos del presente trabajo fueron determinar el efecto de: a) la condición corporal al parto, b) la presencia de toros con pene bloqueado, y c) el destete temporal, sobre: 1) la duración del período de anestro postparto y la tasa de preñez al primer servicio y al final de un período de empadre de 60 días, y 2) evaluar el efecto de diferentes tratamientos con hormonas exógenas, para la sincronización de estros y control de la ovulación sobre la tasa de preñez al primer servicio, en un empadre de 60 días igualmente, considerando además, la condición corporal al momento de la sincronización de estros e inicio del empadre.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Condición corporal

2.1.1 Condición corporal y comportamiento reproductivo postparto en ganado de carne.

La condición corporal al parto, la cual refleja el nivel de alimentación preparto, tiene un gran efecto sobre la duración del período de anestro postparto (Dunn y Kaltenbach, 1980), siendo este más corto en vacas con condición corporal superior (Selk *et al.*, 1985; Richards *et al.*, 1986; Wrigth *et al.*, 1987). Richards *et al.* (1986) condujeron un experimento con vacas con una condición corporal de 4 a 7 en la escala de clasificación de 1 a 9, encontrando que éste fue el factor más importante que influyó en el retorno al estro y a la siguiente preñez.

El estado nutricional de la vaca influye sobre la duración del período de anestro postparto y sobre la probabilidad de que la vaca llegue a preñarse durante la estación del empadre (Short *et al.*, 1990). Es posible que la ganancia de peso postparto sea esencial únicamente para las vacas que están en una pobre condición corporal al parto (Dunn y Kaltenbach, 1980; Richards *et al.*, 1986). Los efectos del nivel de alimentación postparto son menos pronunciados y pueden ser dependientes del nivel de la condición corporal al parto con el efecto más importante en las vacas delgadas (Short *et al.*, 1990) e indican que por cada unidad de incremento en la condición corporal al parto la duración del período de anestro postparto fue reducida en 21.8 días. Lowman (1985) consideró que la dirección en el cambio de la condición corporal durante el período del empadre fue una determinante importante del comportamiento reproductivo en vacas de baja condición corporal (clasificación ≤ 2 en una escala de 1 a 5) pero no en vacas con un alto nivel de condición corporal (> 2).

Los factores nutricionales juegan un papel muy importante en la determinación del período de anestro y se ha demostrado que los niveles elevados de condición corporal al parto (Richards *et al.*, 1986; Wright *et al.*, 1987) y altos niveles de alimentación después del parto (Wiltbank *et*

al., 1962; Rutter y Randel, 1984) pueden reducir el período de anestro. Una inadecuada nutrición en energía o proteína en el preparto y el postparto baja el porcentaje de preñeces y el porcentaje de concepción al primer servicio y amplía el intervalo postparto en vacas de carne amamantando (Randel, 1990). Una deficiencia en la nutrición perjudica la función reproductiva, especialmente en los rumiantes (Day *et al.*, 1986), induce al anestro en hembras ciclando (Imakawa *et al.*, 1987; Richards *et al.*, 1989) y prolonga el anestro postparto (Randel, 1990). Los efectos detrimentales de la desnutrición sobre la reproducción en las hembras afectan los niveles de actividad del ovario, glándula pituitaria anterior y/o al hipotálamo (Schillo, 1992).

Quando los pastos fueron escasos y su calidad nutritiva deficiente, la suplementación energética y protéica durante seis semanas en el período del postparto mejoró la condición corporal de las vacas y se incrementó la frecuencia pulsátil de la hormona luteinizante (LH), encontrándose una correlación positiva de esta hormona con la condición corporal, observándose además una correlación negativa entre la condición corporal y la duración del período de anestro postparto (Wright *et al.*, 1992). Wrigth *et al.* (1992a) observaron que las vacas con condición corporal baja al parto (BCS¹ = 4, en una escala de 1 a 9) y alimentadas con un nivel bajo de energía en el postparto, permanecieron sin ciclar un 40%, teniendo un promedio de período de anestro de 116 días. Las vacas que tuvieron una condición corporal buena (BCS = 6) y alimentadas con un nivel alto de energía en el postparto, únicamente un 10% no ciclaron oportunamente promediando 80 días de período de anestro postparto. La frecuencia pulsátil de la LH fue mayor a las 3, 6 y 9 semanas postparto en aquellas vacas con condición corporal buena y nivel alto de energía. Las vacas con condición corporal baja alimentadas con un nivel alto de energía tuvieron un 8% de vacas acíclicas y un promedio de duración de período de anestro de 86 días, y las vacas con condición corporal buena al parto y alimentadas con un nivel bajo de energía tuvieron un 23% de vacas acíclicas y un promedio de duración del período de anestro de 89 días concluyendo que la condición corporal al parto y el nivel de alimentación después del parto influye sobre la duración del período de anestro postparto, con el efecto del nivel de alimentación particularmente pronunciado en las vacas

¹ BCS. Body Condition Score = Grado de Condición Corporal.

flacas, confirmando lo encontrado por Lammond (1970) y Richards *et al.* (1986), quienes sugieren que la ganancia de peso postparto es esencial para las vacas con condición corporal delgada al parto, aunque existen algunas controversias sobre el nivel de nutrición postparto que asegure la recría temprana y el máximo porcentaje de preñez (Lammond, 1970; Rutter y Randel, 1984).

La condición corporal al parto, es una determinante más importante sobre la duración del período de anestro postparto que el consumo de alimento postparto. Un alto nivel de consumo del alimento del parto a la semana 6 postparto, no presentó ventajas en la reducción de la duración del período de anestro postparto, en vacas con una clasificación de condición corporal de 2.25 o superior en una escala de 1 a 5, pero sí influyó en las vacas con una condición corporal inferior (Lowman *et al.*, 1976). Dichas observaciones fueron confirmadas posteriormente por Richards *et al.* (1986) y Wright *et al.* (1987). Los niveles de nutrición antes del parto afectan la longitud del período de anestro postparto siendo este más corto en las vacas mejor alimentadas antes del parto (Wiltbank *et al.*, 1962; Reardon *et al.*, 1978).

Osoro y Wrigth (1992) detectaron que las vacas con una alta condición corporal al parto tuvieron un intervalo más corto del parto al primer estro (11.2 días por unidad de condición corporal al parto), perdieron mayor peso vivo del parto al inicio del período de empadre y bajaron significativamente las ganancias de peso vivo durante el período de empadre en relación con las vacas con una pobre condición corporal. La pérdida de peso vivo diario del parto al inicio del empadre fue de .53 Kg por unidad perdida en la condición corporal al parto y la ganancia de peso vivo diario fue de .67 Kg por unidad de incremento en la condición corporal al parto. Ningún cambio en el peso vivo del parto al inicio del empadre, ni los cambios en el peso vivo durante el período del empadre afectaron algún aspecto del comportamiento reproductivo. Esto se contrapone con lo observado por otros investigadores (Morris *et al.*, 1978; Pleasants y Barton, 1979; Peters y Riley, 1982; y Richards *et al.*, 1986), quienes concluyeron que el nivel de alimentación después del parto tiene poco efecto sobre el comportamiento reproductivo de las vacas que paren en buena condición corporal, concordando con Wrigth *et al.* (1990), Echternkamp *et al.* (1982), y Whisnant *et al.* (1985).

quienes mencionan que la condición corporal al parto y el consumo de alimento o el cambio en el peso vivo después del parto, pueden influir sobre la frecuencia del pulso de la LH. Cada pulso de LH es generado por un pulso de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) del hipotálamo (Clarke y Cummins, 1982), de manera que el efecto de los parámetros hormonales puede ser debido a los efectos de la nutrición sobre el hipotálamo. Hay evidencias de que el nivel de alimentación después del parto (Nicoll, 1979) y los cambios en el peso corporal (Rakestraw *et al.*, 1986) son importantes y afectan el período de anestro postparto y el porcentaje de concepción.

La condición corporal y el nivel de consumo ejercen su influencia sobre la duración del período de anestro postparto por las diferencias en la intensidad y particularmente en la frecuencia del pulso de la LH (Wright *et al.*, 1992). La condición corporal puede influir en el hipotálamo por: (a) efectos directos sobre el hipotálamo o (b) alteraciones en el mecanismo de retroalimentación de los esteroides ováricos. Wright *et al.* (1990) demostraron que la condición corporal afecta la frecuencia pulsátil de la LH en vacas ovariectomizadas de manera que este efecto fue directo sobre el hipotálamo, afirmándose que la retroalimentación del estradiol no es alterada por la condición corporal. Similarmente al hecho de que el nivel de condición corporal influye sobre la pulsabilidad de la LH en vacas con ovarios intactos (Whisnant *et al.*, 1985) y en vacas ovariectomizadas, Echternkamp *et al.*, (1982) sugieren que el nivel de alimentación también puede influir en la pulsabilidad de la LH independientemente del mecanismo de retroalimentación de los esteroides del ovario.

Prado *et al.* (1990) encontraron que el estado de nutrición puede influir en la secreción de LH y en el desarrollo del folículo ovárico alrededor de las 6 semanas postparto. La presencia de folículos ováricos, la involución uterina y el porcentaje de preñez, fueron los parámetros reproductivos generalmente afectados en el período postparto en vacas con condición corporal de 4 a 6 en una escala de clasificación de 1 a 9. Se demostró que la condición corporal al parto es un importante factor que afecta el comportamiento de la vaca, pero los intervalos reproductivos están directamente relacionados al estado fisiológico de la vaca al llegar a la estación de empadre. La temprana presencia de folículos y la involución temprana del útero

están directamente relacionados a un alto porcentaje de concepciones al primer servicio y por todo el período de empadre. Muchas vacas con condición corporal baja no ciclaron en el tiempo del empadre, mientras que vacas que recibieron una buena suplementación con grano en el postparto aceleraron el evento reproductivo (Laflame y Connor, 1992).

El efecto del BCS al parto y la ganancia de peso postparto sobre la reproducción, fue evaluado por Spitzer *et al.* (1995) en vacas con BCS de 4, 5 ó 6 (1= emaciada, 9= obesa) al parto. Después del parto, fueron alimentadas por 90 días para ganar .45 kg/día (moderada) ó .90 kg/día (alta) hasta el inicio de una estación de cría de 60 días. Las vacas parieron con un BCS de 4, 5 y 6, respectivamente tuvieron becerros con progresivamente más ($P < .05$) peso al nacimiento y mayor grado de distocia. El BCS de las vacas al parto no tuvo efecto sobre el peso real (actual) de los becerros al momento del destete o el peso al destete ajustado a 205 días. Las vacas con mayor ganancia de peso postparto tuvieron becerros con mayor ($P < .05$) peso real al destete y ajustado a 205 días que las vacas con moderada ganancia de peso. El mayor BCS al parto resultó en más ($P < .05$) vacas en estro y más ($P < .05$) vacas preñadas por 40 ó 60 días de una estación de cría. La mayor ganancia de peso en el postparto incrementó la actividad lútea para el inicio del empadre y la respuesta al estro y la tasa de preñez a los 20, 40 y 60 días de una estación de empadre. El cambio en el peso postparto parece tener un efecto aditivo adicional sobre la respuesta al estro y la tasa de preñez e incrementar el peso de los becerros al destete real y ajustado a 205 días.

Lalman *et al.* (1997) trabajando con vaquillas Angus con alimentación restringida antes del parto, para que tuvieran un BCS de 4 (en escala de 1-9) y alimentadas en uno de cuatro niveles de energía metabolizable, para crear rangos de cambios de BCS, encontraron que cada unidad de cambio en el BCS fue asociada ($R^2 = .72$, $P < .0001$) con 33 kg de cambio de peso. La media de intervalo postparto (PPI), del parto al inicio de la actividad lútea fue de 121 ± 6.0 días. Conforme el contenido de energía de la dieta se incrementó, el intervalo postparto disminuyó ($P < .01$). La máxima reducción en el intervalo postparto ocurrió cuando las vaquillas ganaron 1.8 unidades de BCS durante los primeros 90 días de lactación.

Jolly *et al.* (1996) observaron que un bajo BCS al parto ($3.5 \pm .1$, en escala de 1 a 9) estuvo asociado con prolongados intervalos de anestro postparto en vacas amamantando. Sin embargo, las vacas que mantuvieron constante el peso vivo, reanudaron su ciclicidad ovárica dentro de 70 días cuando los becerros fueron destetados a los 50 días postparto. Esta respuesta al destete fue totalmente inhibida en vacas que parieron en baja condición corporal y que perdieron peso postparto. En contraste, la pérdida de peso vivo de más de 23% no afectó la reanudación de la actividad cíclica en respuesta al destete (a 50 días postparto), o el tiempo a la concepción, o la cantidad de vacas que parieron con un alto BCS ($5.8 \pm .2$). La reducida producción de leche y la ganancia de peso de los becerros de las vacas subalimentadas estuvieron asociadas con alta frecuencia y duración del amamantamiento. El intervalo acíclico después del destete estuvo relacionado negativamente ($P < .05$) al BCS al destete, y positivamente relacionado a la intensidad del amamantamiento predestete.

2.1.2 Grasa corporal y comportamiento reproductivo

Los cambios en la gordura corporal han sido asociados con cambios en la actividad reproductiva en el ganado. La obesidad corporal está inversamente correlacionada con el intervalo entre el parto y el retorno al estro (Randel, 1990). Los animales que perdieron grasa corporal durante el inicio del período postparto exhibieron más bajos niveles basales de LH que aquellos que mantuvieron su peso corporal (Rutter y Randel, 1984). El grado de condición corporal (BCS) al parto ha sido usado como un estimador del grado de obesidad corporal para predecir el inicio de la actividad reproductiva (Lalman *et al.*, 1997). La pérdida de peso en los animales adultos es principalmente debido a una pérdida de grasa, observándose que la reducción en la frecuencia pulsátil de LH está asociada con una prolongada restricción de energía en la dieta y relacionada con una reducción en la obesidad corporal (Richards *et al.*, 1989). A pesar de esa relación entre los patrones de LH y el grado de obesidad del cuerpo, es dudoso que la grasa corporal por sí sola induzca a la liberación de LH.

Muestras sanguíneas y biopsias del tejido adiposo de la base de la cola fueron tomadas de 12 vacas dos veces durante la preñez tardía y 3 veces durante la lactación temprana. Las

concentraciones de progesterona en tejido adiposo fueron más altas ($P < .05$) durante la preñez que en cualquier estado no gestante examinado, y en general el cambio con el estado reproductivo reflejó cambios en la concentración de progesterona en el plasma y en el BCS. Las concentraciones de progesterona en el plasma y tejido adiposo estuvieron positivamente correlacionadas ($P < .001$) al estro y durante la fase lútea del ciclo estrual (Hamudikuwanda *et al.*, 1996).

2.1.3 Energía y función reproductiva.

Una prolongada restricción de energía en la dieta retrasa el inicio de la pubertad, interrumpe la ciclicidad en los animales sexualmente maduros, y prolonga el período de anestro postparto en los rumiantes domésticos. Un importante mecanismo por el cual, la restricción de energía deteriora la actividad reproductiva parece ser una supresión del incremento en la frecuencia pulsátil de LH, que es necesaria para el desarrollo del folículo ovárico al estado preovulatorio. La desnutrición aparentemente inhibe la secreción pulsátil de LH por reducir la secreción de hormona liberadora de hormona luteinizante (LHRH) por el hipotálamo. La habilidad de un animal para sostener un modo frecuentemente alto de liberación pulsátil de LH esta relacionado con su estado metabólico (Schillo, 1991).

El balance de energía para vacas individuales fue determinado por el cambio en la condición corporal, cambio en el peso y estimación del peso en la producción de leche en ordeño o en amamantamiento (Buskirk *et al.*, 1992). Un alto consumo de energía incrementó ($P < .05$) el peso corporal (BW)², el BCS, y las megacalorías de energía corporal (BE)³ por 94 días postparto usando diferentes niveles de alimentación energética. Ningún tratamiento dietético, en ningún BCS fue significativo ($P > .30$) en la variación en días a la primera ovulación o la concepción. Recientemente se ha demostrado que el BCS es un método confiable para estimar la composición corporal y las reservas de energía en vivo, existiendo una correlación ($r = .98$) entre el cambio de peso con cada unidad de BCS (escala de 1 a 5) y esta asociado con un

² BW, del inglés "Body Weight" para referirse a peso corporal.

³ BE, del inglés "Body Energy" para indicar energía corporal.

cambio de 68 Kg. de BW (Wagner *et al.*, 1988; Houghton *et al.*, 1990), aunque esto depende de la raza, edad y talla corporal.

Buskirk *et al.* (1992) y Rakestraw *et al.* (1986) observaron que la restricción de energía en las vacas tendió ($P < .10$) a limitar la actividad lútea para el final de la estación de empadre. Las vacas en baja condición corporal (≤ 2.5 , en la escala de 1 a 5) tuvieron menor porcentaje de ciclicidad (50 vs. 100%) para el final de la estación de empadre, que las vacas con buena condición corporal (≥ 3). Similarmente, Houghton *et al.* (1990) encontraron que las vacas con una BCS < 3 exhibieron un intervalo de anestro postparto de 28 a 58 días más largo que el de las vacas con BCS ≥ 3 . Otros investigadores encontraron que un porcentaje superior de vacas, que mantuvieron o ganaron peso durante el período postparto, mostraron estro durante la estación de empadre (Dunn y Kaltenbach, 1980; Rutter y Randel, 1984; Richards *et al.*, 1986).

Los factores nutricionales y metabólicos que afectan a la vaca en el postparto al retornar de la preñez son económica y científicamente importantes. Es común que la vaca no consuma suficiente alimento en el estadio temprano de la lactación para cubrir los requerimientos para la producción de leche. Por consiguiente, los gastos de energía para la producción de leche son aportados por las reservas de grasa corporal, por lo que la vaca pierde peso y condición corporal en el período postparto (Bauman y Currie, 1980; Coppock, 1989; Berghorn *et al.*, 1988; Villa-Godoy *et al.*, 1988). Un efecto más consistente fue encontrado cuando se examinó el balance energético (EB)⁴. Las vacas con EB más negativo ovularon más tarde en el postparto, posiblemente debido a la presencia de signos energéticos indefinidos asociados con la depresión de las reservas corporales. Los nutrientes que afectan la producción de leche y el metabolismo energético pueden influenciar la función del hipotálamo, la pituitaria y el ovario (Lucy *et al.*, 1992).

⁴ EB. del inglés "Energy Balance" que indica balance energético.

2.1.4 Nutrición y la función hipotalámica

Staples *et al.* (1990) y Hansen *et al.* (1982), mencionan que existe una correlación negativa entre consumo de nutrientes y el intervalo parto-primer estro. Las vacas con mayor EB negativo tienen intervalos más amplios a la primera ovulación (Butler *et al.*, 1981; Butler y Smith, 1989) y producen menos leche. Es probable que el aumento de nutrientes disponibles para las reservas corporales de la vaca pueda estimular al ovario o a otras partes del eje hipotálamo-pituitaria-ovárico para que se inicie la actividad cíclica reproductiva (Nett, 1987).

El sitio de control nutricional sobre la actividad reproductiva postparto en el ganado puede ser el hipotálamo. Existen evidencias de que el estado nutricional afecta la liberación hipotalámica de GnRH, la cual se libera por la influencia de estrógenos para una posterior liberación de LH (Echternkamp *et al.*, 1982; Hardin y Randel, 1983; Nolan *et al.*, 1989). Aunque la respuesta a los estímulos con diferentes dosis de estrógeno varió entre experimentos, todos los investigadores encontraron que los animales en un bajo plano de nutrición tuvieron más bajos perfiles de liberación de LH que los animales en planos superiores de nutrición. En la etapa temprana del postparto y con restricciones dietéticas más drásticas, hay un bloqueo completo para responder a estímulos de 1 mg de 17 β -estradiol (Nolan *et al.*, 1989). La reducida habilidad de la vaca recibiendo dietas con baja energía y/o proteína para responder al estradiol sugieren que la respuesta hipotalámica es alterada por la nutrición. Tal vez esta reducción en la sensibilidad hipotalámica es debida a una disminución en los receptores de estradiol, así como a la falta de síntesis, almacenamiento y secreción de GnRH hipotalámica.

2.1.5 Nutrición y la función de la pituitaria

Dietas bajas en energía disminuyen las concentraciones medias de LH en el suero en vacas postparto (Echternkamp *et al.*, 1982; Whisnant *et al.*, 1985). Las concentraciones medias de LH en el suero son más bajas en vacas perdiendo condición corporal en el postparto, que en vacas manteniendo su condición corporal (Rutter y Randel, 1984). Vacas alimentadas con dietas bajas en energía tuvieron suprimida la liberación pulsátil de LH al momento de retirarles

el becerro y el día 1, pero la respuesta fue igual a la de vacas alimentadas con una dieta alta en energía en el día 2 de la remoción del becerro (Whisnant *et al.*, 1985).

El estado nutricional de la vaca en el postparto alteró la liberación de la LH en la pituitaria después de un estímulo de la GnRH (Rutter y Randel, 1984; Whisnant *et al.*, 1985; Rasby *et al.*, 1986; Nolan *et al.*, 1989). Vacas que recibieron dietas bajas en energía tuvieron una respuesta incrementada a la GnRH (Whisnant *et al.*, 1985), la cual fue similar a la de vacas que recibieron dietas con deficiencias en proteína cruda (P.C.) (Nolan *et al.*, 1989). Vacas que recibieron dietas bajas en energía y P.C. también tuvieron una mayor respuesta a la GnRH (Rasby *et al.*, 1986).

La repleción del almacén de la LH en la pituitaria puede ser un factor limitante en el retorno a la ciclicidad reproductiva después del parto (Moss *et al.*, 1985). El intervalo postparto y el estado nutricional afectan el contenido de la pituitaria y la concentración de LH y FSH, pero no afectan el número de receptores de la GnRH (Moss *et al.*, 1985; Nolan *et al.*, 1989). Comparando vacas alimentadas con dietas adecuadas, con vacas alimentadas con dietas deficientes en proteína cruda, se observó que las primeras tuvieron mayores concentraciones de LH y FSH en la pituitaria en el postparto que las segundas (Randel, 1990).

2.1.6 Nutrición y función ovárica

Vacas lactantes subalimentadas tuvieron períodos extremos de inactividad ovárica. La función reproductiva postparto de la vaca depende de la recuperación corporal en la última fase del estado de preñez, iniciación del desarrollo folicular, ocurrencia de estros con ovulación y adecuada duración de la vida luteal para el reconocimiento maternal de la preñez (Malven, 1984). La función ovárica es controlada por la secreción de gonadotropina desde la glándula pituitaria. Probablemente, el sitio de influencia nutricional sobre el ovario se encuentra localizado en el eje hipotálamo-pituitaria. Por causas de la subalimentación, las vacas pueden no exhibir actividad ovárica. Los mecanismos nutricionales que controlan la actividad ovárica pueden ejercer su efecto sobre el hipotálamo, la glándula pituitaria o el ovario (Entwistle,

1983). Vacas Herford delgadas ($BCS \leq 4$, en una clasificación de 1 a 9) tuvieron ovarios, cuerpo lúteo y fluido folicular con menor peso que las vacas que estuvieron en moderada ($BCS \geq 5$) o superior condición corporal.

2.1.7 Mecanismos metabólicos: estado nutricional relacionado con la secreción de la hormona luteinizante (LH) y la hormona estimulante del folículo (FSH).

La reducción en la frecuencia pulsátil de LH, observada durante la restricción de energía dietética es dramática, y probablemente represente uno de los medios más importantes, por los cuales la desnutrición perjudica la actividad reproductiva en las hembras domésticas. Rutter y Randel (1984) han discutido en forma enfática la posibilidad de que los efectos de la baja nutrición sobre la secreción de LH impliquen mecanismos centrales que controlen la secreción de LHRH por el hipotálamo (señal neuroendócrina). El estado nutricional influye en el metabolismo intermediario, por lo que parece posible que la nutrición puede influir en la secreción de LH, vía señal sanguínea, que refleja el estado metabólico de la vaca. Las concentraciones circulantes de insulina, ciertos aminoácidos y ácidos grasos no esterificados (NEFA)⁵, actúan como tales señales. En general, los periodos de baja nutrición son asociados con un decremento en la secreción de insulina por el páncreas (Bassett *et al.*, 1971), elevadas concentraciones de NEFA (Gill y Hart, 1981) debido a una incrementada lipólisis y a una reducida lipogénesis, y cambios en la concentración de varios aminoácidos (Bergen, 1979). La insulina puede servir como un signo del estado de nutrición de la hembra, influyendo en la liberación de LH. Las concentraciones periféricas de insulina son directamente proporcionales a los niveles de consumo de alimento en los rumiantes (Bassett *et al.*, 1971). Además, la insulina pasa la barrera sanguínea del cerebro para influenciar varias funciones en el sistema nervioso central (Duffy y Pardridge, 1987).

Una de las acciones importantes de la hormona del crecimiento (GH) y el factor de crecimiento insulínico-I (IGF-I) en el control del metabolismo intermediario de la energía, es la de mediar los efectos de la nutrición sobre la actividad reproductiva. La restricción del consumo de

⁵ NEFA, del inglés "Non Esterified Fatty Acids" que indica ácidos grasos no esterificados

alimento en rumiantes incrementó la concentración circulante de GH (Thomas *et al.*, 1990) y redujo la concentración de IGF-I (Rutter *et al.*, 1989). Estos investigadores reportaron que la concentración circulante del IGF-I en el postparto de las vacas estuvo correlacionada positivamente con la condición corporal y se incrementó después de remover el becerro. Estas relaciones implican que las concentraciones del IGF-I posiblemente estén inversamente relacionadas con la duración del período de anestro postparto. Richards *et al.* (1991) reportaron que las concentraciones circulantes de LH e IGF-I disminuyeron durante la restricción de la alimentación en vacas no preñadas y no lactantes y sugieren que estas respuestas pueden ser muy parecidas fisiológicamente.

Roberts *et al.* (1997) observaron que pocas vacas reiniciaron el estro entre las 20 semanas posteriores al parto ($P < .05$) cuando recibieron un nivel alimenticio bajo (5 de 14) en relación con las que recibieron un nivel alimenticio alto (11 de 15). La concentración del IGF-I se incrementó de la semana 2 a la 10 postparto, en vacas que retornaron al estro, pero no en vacas que permanecieron en anestro, permaneciendo baja ($P < .05$) de la semana 2 a la 10. La cantidad circulante del IGF-I ligada a la proteína-2 durante la semana 2 fue más alta ($P < .05$) y la concentración de IGF ligada a la proteína-3 fue más baja ($P < .05$) en vacas que permanecieron en anestro comparada con las vacas que reiniciaron el ciclo. Las vacas en anestro en el nivel bajo de alimentación tuvieron un menor grado de condición corporal y una mayor concentración de somatotropina ($P < .05$) que las vacas con nivel alimenticio alto.

El eje endócrino metabólico, incluyendo la GH y el IGF-I, pueden afectar la función reproductiva. En un estudio realizado por Yelich *et al.* (1995) en ganado bovino, la concentración de GH en la sangre estuvo inversamente relacionada con el consumo de nutrientes. La GH interviene en la movilización de grasa en vacas que están en balance energético negativo en el período inmediato postparto, principalmente debido a la producción de leche. Sin embargo, no hay evidencias de que las concentraciones de GH fueran afectadas por restricciones en la frecuencia del amamantamiento, indicando que los cambios en la GH no son importantes en la mediación de los eventos endócrinos, conduciendo a la reanudación temprana de la ovulación, en vacas de carne amamantando una vez al día en el postparto. La

concentración periférica del IGF-I estuvo positivamente asociada con la condición corporal y consumo de nutrientes (Yelich *et al.*, 1996). La disminución en la concentración del IGF-I estuvo asociada con incrementados intervalos de anestro postparto en ganado de carne (Nugent *et al.*, 1993, Roberts *et al.*, 1997).

Concentraciones altas del IGF-I pueden estimular directamente la proliferación o capacidad estrogénica de la teca (Spicer y Stewart, 1996) y/o de las células granulosas (Spicer *et al.*, 1993). También se ha observado que el IGF-I puede afectar directamente la pituitaria (Wilson, 1995) y la función hipotalámica (Hiney *et al.*, 1991), aunque no se conoce con certeza el mecanismo de acción sobre estas glándulas.

2.1.8 Balance Endócrino

Las proteínas pueden impactar sobre la reproducción vía efectos sobre el metabolismo de la energía o de la partición de nutrientes. La función luteal ha sido estudiada por mediciones de la progesterona en el suero. La P_4 tiene una importante influencia sobre la maduración folicular, pasaje del embrión fertilizado a través del oviducto hasta el útero, la secreción de leche uterina por las glándulas endometriales y el mantenimiento de un ambiente en el útero que conduzca a la preñez (Smith, 1986). La concentración de P_4 en el suero en la fase media luteal en el ciclo anterior al empadre está correlacionada con la tasa de concepción (CR)⁶ (Folman *et al.*, 1973). La progesterona en el suero declina conforme se incrementa la P.C. de la materia seca (M.S.) de 13 a 15%, pero los cambios son pequeños cuando la P.C. de la M.S. se incrementa de 15 a 20%. Esto sugiere que la disminución de la progesterona en el suero ocurre cuando las concentraciones de P.C. de la M.S. exceden los requerimientos del rumen para proteína degradable ingerida, posiblemente por el gasto energético requerido por los microorganismos para la síntesis de proteína microbiana, disminuyendo con esto la disponibilidad de ácidos grasos volátiles, que son la fuente principal de energía del rumiante. Sin embargo, esta relación necesita ser probada controlando la fuente de proteína, los metabolitos del suero y el estado de

⁶ CR del inglés "Conception Rate" que indica tasa de concepción.

la energía, porque estos pueden confundir los efectos de la P.C. de la M.S. (Folman *et al.*, 1973).

Las vacas alimentadas con dietas con 13 ó 22% de P.C. en la M.S. tuvieron similares concentraciones de progesterona en la sangre, pero la concentración de progesterona en el ciclo después de una inyección de GnRH fue más baja en las vacas alimentadas con 22% de P.C. en la M.S. (Snoderman *et al.*, 1987). Una baja liberación de LH o una baja sensibilidad del ovario a la LH ocasionan una baja concentración de progesterona.

A pesar de esas limitadas observaciones de la influencia de la proteína sobre la función de la pituitaria, se observaron cambios muy similares en vacas que consumieron dietas bajas en energía (Blauwiekel y Kincaid, 1986). El bajo consumo de energía preparto causó incrementada liberación de LH en respuesta a la inyección de LHRH en vaquillas y vacas ovariectomizadas (Beal *et al.*, 1978). El tejido luteal de las vaquillas con deficiencias de energía es menos susceptible para responder a la LH (Apgar *et al.*, 1975).

En vacas alimentadas con dietas bajas en energía, la progesterona en el suero fue baja (Beal *et al.*, 1978). El colesterol del suero es un precursor para la producción de esteroides gonadales, correlacionados positivamente con el alimento y el total de energía consumida y negativamente con la proteína consumida (Park, 1985; Talavera *et al.*, 1985). Las bajas concentraciones de colesterol en el suero sanguíneo han sido correlacionadas con una baja concentración de progesterona en el suero (Talavera, *et al.*, 1985) y una baja fertilidad (Kappel *et al.*, 1984).

La fecundación puede fallar si no se logra un control completo del equilibrio del eje hipotálamo-hipófisis-ovárico. El tiempo de concepción para esto puede comprender un balance de absorción de nutrientes aminogénicos, lipogénicos y glucogénicos. El porcentaje de estos nutrientes altera la eficiencia de utilización de la energía metabolizable (Imakawa *et al.*, 1986a). El balance de energía también ha sido implicado como un importante regulador de los días a la primera ovulación en la vaca (Butler *et al.*, 1981).

La insulina es considerada por algunos investigadores como el principal regulador metabólico hormonal (Bines y Hart, 1982; Brockman y Laarveld, 1986). La insulina del suero sanguíneo depende del suplemento de nutrientes, y puede influir en la reproducción. El eje hipotálamo – hipofisis - ovario es sensible a alteraciones de la insulina y de la glucosa en la sangre (Adashi *et al.*, 1980; Ladenhein *et al.*, 1984; May y Schunberg, 1981; Rutter y Manns, 1987).

La captación de glucosa por el tejido del útero y la glándula mamaria es función dependiente de la insulina (Brockman y Laarveld, 1986). La suplementación del sustrato asegura la adecuada entrada de glucosa a estos órganos cuando las concentraciones de insulina en el suero son bajas, tales como al tiempo de balance de energía negativa. Estos órganos compiten por la extracción de la glucosa y la demanda es determinada por el estado productivo de cada órgano (Ladenhein *et al.*, 1984; Rutter y Manns, 1987).

Una baja concentración de glucosa en el suero disminuyó la frecuencia pulsátil y la amplitud de la LH, provocando una baja producción de progesterona en el cuerpo lúteo (Smith, 1986). Estos cambios son similares a los vistos en las vacas que perdieron peso corporal, al ser alimentadas con dietas deficientes en energía (Apgar *et al.*, 1975; Beal *et al.*, 1978). Además, la eficiencia reproductiva fue baja en las vacas con baja concentración de glucosa en la sangre y con pérdida de peso (Imakawa *et al.*, 1986b).

2.1.9 Energía y ciclo estrual

La prolongada restricción de la energía dietética indujo al anestro a vacas maduras sexualmente (Richards *et al.*, 1989). Este efecto fue parcialmente atribuido a una disminución en la secreción de LH. Las vaquillas alimentadas con bajos niveles de energía dietética fallaron para exhibir patrones pulsátiles de LH después del tratamiento de progestina/estrógeno (Imakawa *et al.*, 1984). En otro experimento, la frecuencia del pulso de LH durante la fase folicular del ciclo estrual estuvo correlacionada positivamente con cambios en el peso corporal (Imakawa *et al.*, 1986b). El anestro resultante de una pobre nutrición fue asociado con una disminución en la frecuencia del pulso de LH, en vaquillas de carne (Richards *et al.*, 1989). Este efecto fue

aparentemente debido a la incrementada sensibilidad a la retroalimentación negativa de estrógenos, así como a un efecto directo esteroide-independiente sobre la liberación de LHRH (Imakawa *et al.*, 1986a, Imakawa *et al.*, 1987).

El anestro nutricional y el reducido porcentaje de ovulación en ganado adulto involucra la alteración de la liberación pulsátil de la LH, pero también son posibles efectos directos sobre el ovario. El efecto negativo de la inadecuada nutrición sobre la liberación de LH parece ser manifestada a nivel de sistema nervioso central y probablemente implica la reducida liberación de LHRH (Schillo, 1992).

2.1.10 Vitamina A y cuerpo lúteo (CL)

El término cuerpo lúteo (CL) literalmente significa cuerpo amarillo. En las vacas, el color amarillo es causado por altos niveles de β -caroteno, un precursor de la antioxidante vitamina A (Graves-Hoagland *et al.*, 1989). La presencia de antioxidantes en el ovario y en otras hormonas esteroideas producidas en tejidos como los adrenales, puede ser requerida para proteger los esteroideos de daños oxidantes, a partir de la enzima citocromo P-450, la cual está involucrada en la síntesis de hormonas esteroideas, produciendo radicales oxígeno (Young *et al.*, 1995). La deficiencia de vitaminas antioxidantes esta asociada con una producción disminuida de hormonas esteroideas e infertilidad (Luck *et al.*, 1995)

La función del CL es clave en muchos procesos reproductivos, incluyendo la ovulación, la duración del ciclo estrual, el mantenimiento de la preñez y la sobrevivencia del embrión en todas las especies mamíferas. La principal función del cuerpo lúteo es la de producir progesterona la cual actúa en los tejidos para prepararlos para una preñez exitosa. El cuerpo lúteo es controlado por numerosos compuestos biológicos los cuales proporcionan soporte luteotrópico durante el ciclo estrual y la preñez y para inducir la luteólisis al final del ciclo (Milvae *et al.*, 1996).

2.2 Mecanismos hormonales del período postparto

2.2.1 Mecanismos luteotrópicos

El cuerpo lúteo es una glándula endocrina temporal que secreta progesterona para soportar la preñez. Se desarrolla desde el folículo ovárico después de la ovulación. El crecimiento inicial del CL es dramático. Su peso se incrementa más de 6 veces en la primera mitad del ciclo estrual bovino. Durante el desarrollo, hay cambios estructurales, los cuales ocurren a nivel celular. Existen canales de unión entre las células lúteas, aparentemente bajo la influencia de hormonas gonadotrópicas. Estas hormonas proporcionan pasaje de pequeñas moléculas entre las células. Se han identificado receptores gonadotrópicos sobre proyecciones citoplásmicas de células lúteas (Zheng *et al.* 1994).

2.2.2 Hormona luteinizante (LH) y cuerpo lúteo (CL)

La LH es la principal hormona que regula el cuerpo lúteo en muchas especies. La administración de esta hormona en la vaca durante el ciclo estrual estimula un incremento en la producción de progesterona por parte del CL (Wiltbank, 1994). Durante el ciclo estrual bovino, la LH es secretada a niveles bajos, excepto en la gran oleada preovulatoria. Esta oleada estimula la turgencia folicular, la ovulación y la formación de CL. Durante la ovulación, el óvulo y el líquido circundante escapan, creando una cavidad para el desarrollo de CL desde el folículo. El folículo contiene una capa interna avascular de células granulosas rodeadas por una membrana basal, una capa de teca interna y una capa de teca externa. Un número de cambios estructurales siguen la ovulación. La membrana basal rompe la resistencia, y la teca vascular interna y las células granulosas invaden la cavidad folicular. Las células de la granulosa y teca interna crecen y se dividen, proliferando nuevos vasos para proporcionar al cuerpo lúteo una red vascular. El flujo sanguíneo se incrementa conforme crece el CL (Damber *et al.*, 1987). El CL se convierte en una esfera sólida de células, las cuales producen principalmente progesterona (Fields *et al.*, 1992).

2.2.3 Control de la retroalimentación de la LH

La LH liberada de la pituitaria es regulada por la progesterona y el estradiol. Durante la mayor parte del ciclo estrual, ambas hormonas regulan la secreción de LH. La elevación de estradiol durante el estro estimula al hipotálamo a secretar LHRH, la cual induce a la pituitaria a secretar LH, que actúa sobre el folículo para producir la ovulación. Un nivel alto de P₄ producida por el cuerpo lúteo (CL) ejerce su efecto sobre el hipotálamo reduciendo o inhibiendo la producción de LHRH, cesando la producción de LH en la pituitaria. La LH no es liberada uniformemente, sino en pulsos, los cuales varían en amplitud y frecuencia (Rahe *et al.*, 1980).

Durante la luteólisis, los niveles de P₄ caen y la influencia de la retroalimentación negativa se pierde, el nivel de LH se eleva gradualmente, la secreción de estrógenos del folículo maduro se incrementa e induce a la pituitaria a la liberación de una oleada preovulatoria intensa de LH. En este momento del ciclo, el estradiol cambia de retroalimentación negativa a positiva (Karsh *et al.*, 1979).

2.2.4 Síntesis de progesterona (P₄)

Hay varias fuentes de colesterol disponibles para la síntesis de progesterona. Este puede ser obtenido de lipoproteínas de alta o baja densidad (HDL o LDL). El colesterol está presente en las células lúteas en forma no esterificada asociado con membranas, o esterificado y almacenado en gotas de lípido. Las gotas de lípido son vistas, tanto en células grandes como en pequeñas. Otra fuente es el nuevo colesterol sintetizado a partir del acetato en el hígado (Hanselt *et al.*, 1987). Existen varios pasos en la síntesis de hormonas esteroideas y las enzimas son localizadas en diferentes compartimientos de las células. El colesterol puede ser transportado a la mitocondria a través de una división en la cadena de la citocromo P-450, lo cual puede ocurrir en las células lúteas bovinas grandes y pequeñas (Rodgers *et al.*, 1986).

La transportación es intensificada por la proteína 2 acarreadora de esterol, la cual facilita el movimiento del colesterol a la parte de la cadena segmentada de la enzima, en el interior de la membrana mitocondrial. Esta proteína de transporte también puede funcionar para regular la

síntesis de progesterona después de la adición de esterol acarreado por la proteína 2 a la mitocondria adrenal incrementando la producción de pregnenolona. Además, la síntesis de esta proteína es inducida por la ACTH, en las células de la corteza adrenal. La proteína acarreadora de esterol esta también presente en el CL. Otro sitio de regulación es la parte segmentada de la cadena de la enzima citocromo P-450. Las hormonas gonadotrópicas estimulan un incremento en la actividad de esta enzima en el CL bovino. En adición, existen evidencias de que el factor de desarrollo epidermal y el factor de crecimiento insulínico-I, también estimulan un crecimiento en la actividad de la parte segmentada de la cadena de la enzima citocromo P-450 en las células granulosas. (Trzeciak *et al.*, 1987).

El producto del paso de la cadena fragmentada es la pregnenolona, un compuesto de 21 carbonos que viajan de la mitocondria al retículo endoplásmico liso para convertirse en progesterona. A pesar de que hay dos partes hacia este paso, ambas parecen ser llevadas a cabo por una enzima única, Δ^5 3 β -hidroxiesteroide deshidrogenasa, Δ^{5-4} isomerasa (Smith *et al.* 1994). Esta cataliza el paso de deshidrogenación que convierte el grupo 3-hidroxiacetona y el paso de isomerización que cambia la doble ligadura de la posición 5-6 del anillo B, a la posición 4-5 en el anillo A. Este enzima parece estar constitutivamente expresada en el CL bovino (Conley *et al.*, 1995).

2.2.5 Regulación de la síntesis de progesterona en células pequeñas y grandes.

El control de la esteroidogénesis puede variar en dos tipos de células lúteas. Las células grandes del CL bovino producen más progesterona por célula que las células pequeñas, pero estas últimas muestran una mayor respuesta a la estimulación de LH (Hansel *et al.*, 1991), aunque Chegini *et al.* (1991) usando un método autoradiográfico cuantitativo, reportaron que hay más sitios ligadores de hCG⁷ en las células grandes, en la vaca. Sin embargo, cuando corrigieron por tamaño encontraron ligeramente más sitios ligadores en las células pequeñas. Hay evidencias de que la proteincinasa-C funciona controlando la esteroidogénesis. Esta

⁷ HCG. human Chroric Gonadotropin = Gonadotropina Coriónica Humana, con acción similar a la LH en ganado bovino cuando se aplica por vía parenteral.

enzima es estimulada por la vía de la fosfolipasa-C-fosfoinositol, la cual trabaja como un sistema de segundo mensajero. La activación de esta vía con el forbol ester, forbol dibutirato, incrementa la producción de progesterona en células lúteas pequeñas pero no en las células lúteas grandes, en la vaca (Hansel *et al.* 1987).

2.2.6 Control del cuerpo lúteo de la preñez

El CL puede ser mantenido cuando ocurre la preñez. El mecanismo para el reconocimiento maternal de la preñez puede variar con las especies. En algunas especies implica un mecanismo de inhibición de la $PGF_{2\alpha}$, que es la hormona luteolítica, y en otras puede implicar la liberación de hormona luteotrópica de la pituitaria o la placenta. Las hormonas luteotrópicas incluyen la prolactina de la pituitaria en un estado temprano de la preñez y una sustancia similar a la prolactina liberada más tarde de la decidua y la placenta (Niswender *et al.*, 1994). En la vaca, el CL es requerido para soportar la preñez. Si la preñez no ocurre, es esencial que el CL regrese, permitiendo la iniciación de un nuevo ciclo reproductivo. El proceso implica la pérdida de la función lútea al final del ciclo. Primero ocurre una disminución en la producción de progesterona, seguido por luteólisis. El CL es una glándula temporal altamente vascularizada, que recibe el 80% de la sangre que llega al ovario. La prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$) de origen uterino es el principal agente luteolítico. La $PGF_{2\alpha}$ tiene múltiples acciones biológicas, entre las que se encuentra la de producir una vasoconstricción en el ovario, reduciendo el flujo sanguíneo hacia el CL.

La $PGF_{2\alpha}$ es considerada como el principal factor para la iniciación de la regresión del CL. El CL debe existir durante la preñez para que produzca progesterona y se mantenga la gestación a término. Al parecer, la señal de reconocimiento de la preñez la proporciona el embrión. El trofoblasto del embrión bovino produce el interferón-tau (ITF- τ), que actúa sobre las células endometriales inhibiendo la producción de $PGF_{2\alpha}$ desde el día 10 de la fecundación, impidiendo la involución del CL (Roberts *et al.*, 1992). Esto concuerda con lo encontrado por Thatcher *et al.* (1995) y Stagg *et al.* (1998), quienes reportan que el embrión libera ITF- τ , el cual induce a la producción de 2 proteínas uterinas durante la preñez temprana, la ubiquinina y la proteína-2

granulocítica, que son citocinas que tienen una acción inhibitoria sobre la producción de $\text{PGF}_{2\alpha}$ por el endometrio uterino, manteniéndose de esa manera el CL. Sin embargo, se conoce poco acerca de los signos de transducción que ocurren después que el ITF- τ interactúa con los receptores endometriales de la vaca. Staggs *et al.* (1998), observaron que la ubiquinina estuvo presente del día 15 al 26 de la preñez, alcanzando su concentración más alta el día 18, la proteína-2 granulocítica tuvo su concentración más alta del día 18 al 21 de la preñez. En las vacas vacías no hubo producción de ITF- τ , ni de estas proteínas.

2.2.7 Mecanismos luteolíticos

En ausencia de preñez, el cuerpo lúteo sufre una regresión morfológica y funcional. Este proceso, llamado luteólisis es caracterizado por una suspensión de la producción de progesterona y un colapso de los componentes celulares, incluyendo la reducción del suministro vascular, proliferación de tejido conectivo, incremento de desorganización celular, degeneración y fagocitosis de las células lúteas (Carlson *et al.*, 1982).

La $\text{PGF}_{2\alpha}$ secretada por el útero es la luteolisina endógena más importante en rumiantes domésticos. La $\text{PGF}_{2\alpha}$ pasa a través de una vía venoarterial local entre el cuerno uterino y el ovario adyacente. El CL es mantenido después de la histerectomía bilateral. La remoción de un cuerno uterino resultó en mantenimiento del CL ipsilateral (Ginther y Del Campo, 1974). La $\text{PGF}_{2\alpha}$ es secretada al máximo en una forma pulsátil por el endometrio bovino durante el período de la luteólisis y afecta el CL ipsilateral por un sistema local veno-arterial de transporte a contracorriente (Schemesch y Hansel, 1975).

2.2.8 Prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($\text{PGF}_{2\alpha}$)

La administración de $\text{PGF}_{2\alpha}$ exógena causa regresión lútea prematura cuando se aplica por vía intrauterina, intravenosa o intramuscular a los rumiantes. La $\text{PGF}_{2\alpha}$ y sus análogos son ampliamente usados en los programas de sincronización de ciclos estruales (Milvae *et al.*,

1986). Como se mencionó anteriormente, a pesar de la intensiva investigación, el mecanismo intracelular por el cual la $PGF_{2\alpha}$ y sus análogos causan regresión lútea sigue siendo indeterminado. Una serie de efectos han sido observados en los rumiantes domésticos en experimentos conducidos *in vitro* e *in vivo*. Esta incluye: un dramático descenso en el flujo sanguíneo (Nett *et al.*, 1976), cambios en la fluidez de la membrana (Carlson *et al.*, 1982), alterada actividad de enzimas esteroideogénicas (Rao *et al.*, 1984), inhibición de la lipoproteína estimuladora de la esteroideogénesis (Wiltbank *et al.*, 1990), alteraciones de la conformación de la cromatina nuclear (Chegini *et al.*, 1991), disminución en el número de células lúteas pequeñas (Braden *et al.*, 1988) y liberación de oxitocina luteal (Flint y Sheldrick., 1982). Otros efectos reportados de la $PGF_{2\alpha}$ sobre los signos de transducción incluyen: una disminución en los receptores de gonadotropinas (Rao *et al.*, 1984), un desacople de los receptores de LH y adenilciclase (Rodgers, 1990), estimulación de la actividad de la fosfolipasa C (Jacobs, *et al.*, 1991), incremento del inositol trifosfato (Duncan y Davis, 1991) y calcio libre intracelular (Alila *et al.*, 1989), y alteración de la actividad de la proteincinasa C (Orwing *et al.*, 1994).

Las $PGF_{2\alpha}$ es la luteolisina exógena más utilizada en muchas especies. Un simple tratamiento con $PGF_{2\alpha}$ puede causar regresión del CL bovino en la fase media del ciclo (7 a 17 días postestro) pero no en el inicio del ciclo (1 a 5 días postestro) sin considerar la presencia de receptores de alta afinidad a la $PGF_{2\alpha}$ (Sakamoto *et al.*, 1995). La luteólisis es un complejo proceso que implica cambios en la expresión de múltiples genes en al menos 3 tipos de células (células esteroideogénicas grandes y pequeñas y células endoteliales) (Girsh *et al.*, 1996). La luteólisis natural o por tratamiento con $PGF_{2\alpha}$ disminuye el RNAm que codifica genes que regulan la esteroideogénesis, incrementa el RNAm para genes relacionados con el estrés o genes apoptóticos e incremento del RNAm por factores involucrados en la respuesta inmune (Pate, 1994). En adición a la regulación de la expresión génica, la $PGF_{2\alpha}$ también causa cambios agudos, morfológicos y fisiológicos en las células lúteas, tales como disminución de la fluidez de la membrana, depleción de antioxidantes para el CL e incrementa la actividad de las enzimas fosfolipasas y proteolíticas (Sawada y Carlson, 1991). Las combinaciones de estos cambios inducidos por la $PGF_{2\alpha}$ resulta en suspensión de la producción de progesterona luteal e

involución del tejido lúteo. La $\text{PGF}_{2\alpha}$ ejerce sus efectos por ligadura a un receptor de $\text{PGF}_{2\alpha}$ de la membrana plasmática (Sakamoto *et al.*, 1994). Aunque los mecanismos responsables para la luteólisis inducida por la $\text{PGF}_{2\alpha}$ no está completamente definida, hay evidencias que soportan la participación del sistema efector calcio/proteincinasa C en la acción de la $\text{PGF}_{2\alpha}$ (Wiltbank, *et al.*, 1991).

Tsai y Wilbank (1998) obtuvieron evidencias de que la $\text{PGF}_{2\alpha}$ regula algunos procesos celulares como la depleción del ácido ascórbico, y moleculares como la inhibición de RNAm para 3β -HSD y receptor FP en el CL, tanto al inicio como a la mitad del ciclo. El CL de mitad del ciclo parece tener capacidad para responder a la $\text{PGF}_{2\alpha}$ por secreción intraluteal de $\text{PGF}_{2\alpha}$, vía PGHS-2, inducción de eventos inmunológicos e inhibición de producción lútea de P_4 posiblemente por inhibición de codificación genética. Estas capacidades están claramente disminuidas en el inicio del CL y posiblemente ayude a explicar la inhabilidad del CL temprano para ser sometido a regresión después del tratamiento con $\text{PGF}_{2\alpha}$. Para las especies en las cuales la $\text{PGF}_{2\alpha}$ es luteolítica *in vivo*, la administración de $\text{PGF}_{2\alpha}$ o sus análogos en el inicio de la fase luteal no causa regresión del CL.

2.2.9 Control hormonal en las células ováricas, proliferación y diferenciación durante el ciclo estrual.

El crecimiento de los folículos ováricos, ovulación y formación de cuerpo lúteo son procesos complejos que implican dramáticos cambios en la función de las células granulosas. Los cambios son secuenciales y son dictados por acciones específicas, estrechamente reguladas, respondiendo a gonadotropinas, esteroides y factores de desarrollo (Hirshfield, 1991). Uno de los más dramáticos cambios en la función de las células granulosas es el rápido cambio de un estado altamente proliferativo que caracteriza a las células granulosas de folículos preovulatorios que producen 17β -estradiol, a un estado no proliferativo en la fase periódicamente diferenciada de células lúteas que producen progesterona (Robker y Richards, 1998).

En los folículos primordiales, el oocito es rodeado por una simple capa de células granulosas no divididas, detenidas al pasar a esta fase del ciclo celular. Los folículos primordiales viven este estado de quietud e inician una fase de lento crecimiento, en el cual las células granulosas entran al ciclo celular, pero la proliferación es excesivamente lenta. Sin embargo, como esta lenta división de células granulosas adquiere incrementada sensibilidad a FSH y LH, comienzan produciendo estradiol. Expuestas a estas hormonas, se activa una rápida explosión de proliferación celular folicular que provoca la formación de grandes folículos preovulatorios. Esta rápida fase de crecimiento es caracterizada por un marcado incremento de células granulosas cuando son tratadas con timidina o 5-bromodeoxicridina (Gaytan *et al.*, 1996).

Las células granulosas de estos folículos preovulatorios no únicamente son altamente proliferativas, sino también diferenciadas, adquiriendo receptores de LH. La oleada de LH desencadena dramáticos cambios en la estructura y función folicular. La LH finaliza el crecimiento folicular, causando que las células granulosas de los folículos preovulatorios salgan del ciclo celular y rápidamente inicien la diferenciación terminal (luteinización) en la cual las células dejan de dividirse (Richards, 1994). La salida de las células granulosas preovulatorias del ciclo celular ocurre aproximadamente 4 h después de la oleada de LH, y está relacionada a cambios dramáticos en moléculas específicas, regulando el progreso del ciclo celular. En consecuencia, ocurre la ruptura folicular con la ovulación, y las células granulosas se luteinizan para formar el cuerpo lúteo maduro. Las células granulosas están completamente reprogramadas para luteinizarse durante 7 h después de la exposición a la oleada de LH (Richards *et al.*, 1986).

2.3 Bioestimulación con toros

2.3.1 Bioestimulación con toros en el postparto y retorno al estro

Ha habido muchos intentos para mejorar la reanudación de la actividad ovárica y el estro temprano, en el período postparto, induciendo la reactivación de la actividad cíclica pituitaria-

ovario, por medio de tratamientos hormonales dados a diferentes tiempos después del parto. Estos tratamientos son costosos e implican mucho trabajo para ser del uso del productor promedio, por lo que se han hecho algunos intentos de bioestimular las vacas en el postparto, por medio de toros incapacitados quirúrgicamente para copular (Davidenko *et al.*, 1982).

La bioestimulación es un término que ha sido acuñado para describir el efecto estimulador de un macho sobre el estro y la ovulación a través de la estimulación genital o posiblemente por medio de las feromonas (Alberio *et al.*, 1987). Las feromonas son sustancias químicas secretadas y liberadas por un animal para producir un estímulo en otro animal generalmente de la misma especie (Alexander *et al.*; 1992). Debido a que los costos de suplementación de alimento para mantenimiento de las vacas en el invierno son altos, la bioestimulación con toros pudiera ser una práctica útil para reducir los costos de alimentación invernal en vacas con condición corporal media (5, en escala de 1 a 9), manteniendo un óptimo potencial reproductivo. La duración del anestro después del parto puede afectar la eficiencia productiva si la duración del anestro es tan grande que produzca intervalos entre partos mayores de 365 días.

Es esencial que las vacas estén ciclando antes o al principio de la estación reproductiva para lograr una preñez temprana. Sin embargo, el intervalo del parto al estro varía de 46 a 168 días en vacas de carne amamantando (Duun y Kaltenbach, 1980). Con tan grande variación en el intervalo del parto al estro, muchas vacas pueden no estar ciclando al inicio o en la fase temprana de la época de empadre. Davidenko *et al.* (1982) realizaron un estudio para determinar el efecto del estímulo del toro sobre la duración del anestro postparto. Un grupo de vacas fue mantenido sin toro y el diagnóstico del estro se realizó por observación visual únicamente. El segundo grupo estuvo en contacto con un toro con mandil, y el tercer grupo se mantuvo con un toro vasectomizado. El intervalo del parto al estro promedió 60, 48 y 47 días respectivamente, y la tasa de concepción fue de 45.8, 50.0 y 55.3%.

2.3.2 Bioestimulación y hormona liberadora de hormona luteinizante (LHRH)

Burns y Spitzer (1992) condujeron 3 experimentos (E) para evaluar el efecto de la bioestimulación por exposición a toros o vacas androgenizadas en algunas variables reproductivas, en vacas de carne amamantando. Toros (T) o vacas tratadas con testosterona (TTC) fueron introducidos con las vacas a las 72 h postparto, formando 4 grupos. En el E1, los grupos 1 y 3 fueron expuestos a T y los grupos 2 y 4 fueron expuestos a TTC. En el E2, los grupos 1 y 3 fueron expuestos a T y los grupos 2 y 4 sirvieron como control, sin bioestimulación. En el E3, los grupos 1 y 3 fueron expuestos a TTC y los grupos 2 y 4 sirvieron de control. En la media del intervalo del parto al estro no hubo diferencia entre las vacas expuestas a T o TTC en el E 1 ($P > .10$). Sin embargo, en el E2 y 3, las vacas expuestas a T o TTC tuvieron un reducido intervalo del parto al estro, 44 y 41 días, respectivamente comparadas con las vacas control, 52 días ($P < .05$). Pocas vacas control estuvieron en estro antes de 40 días ($P < .05$: E2 y E3) o 60 días postparto ($P < .05$, E3) en comparación con las expuestas a T o TTC. No se observaron diferencias entre grupos en ningún experimento en el intervalo del parto a la preñez ($P > .10$). Estos datos indican que vacas expuestas a bioestimulación con T o TTC inmediatamente después del parto retornan al estro más temprano que las vacas que no son bioestimuladas. Se presume que la presencia de toros estimula la función ovárica por estimular la secreción de LHRH en vacas con condición corporal baja. En vacas con un alto régimen dietético, la inhibición de la secreción de LHRH por disminución del consumo nutricional no fue el principal factor, y estas vacas iniciaron los ciclos estruales temprano en el período postparto sin considerar la presencia de toros (Randel, 1990).

Custer *et al.*(1990) realizaron dos experimentos con vacas primíparas amamantando y pastoreando con toros maduros con pene bloqueado por un período de 108 días. Las vacas con toro iniciaron los ciclos estruales más pronto que las vacas separadas de los toros durante el período postparto. En el experimento 1, la relación vaca:toro varió de 12:1 a 19:1 en los primeros 14 días a partir del día 10 postparto. El intervalo del parto al estro fue de 56.6 y 73.3 días, respectivamente, para vacas con toro y vacas sin toro ($P < .05$). En el experimento 2, la

relación vacas:toro fue de 13:1 a partir de los 10 días postparto. El intervalo del parto al estro fue de 6.5 y 76.9 días, respectivamente, para vacas con toro y vacas sin toro. Una proporción superior ($P < .05$) de vacas expuestas a toros exhibieron estro de los 60 a 90 días después del parto y mostraron incremento de progesterona antes del primer estro. La concentración media y basal de LH, así como la amplitud, frecuencia y duración del pulso de LH no fueron alteradas ($P > .10$) por la exposición a los toros. Cuando la cantidad de energía de la dieta es baja o si ocurre pérdida de peso que produzca una condición corporal marginal en las vacas durante el período que precede al parto, la duración del anestro postparto en vacas maduras es más largo (Dunn y Kaltenbach, 1980). Randel (1990) investigó la causa por la cual la nutrición influye en la recría en el postparto en las vacas y concluyó que las deficiencias nutricionales inhiben la liberación de LHRH del hipotálamo. Sin embargo, el período de anestro postparto se puede acortar con la presencia de toros estimuladores. Martínez y Castro (1983) establecieron un experimento con vacas pastoreando con toros bioestimuladores por 90 días durante la lactación, y vacas en las mismas condiciones de pastoreo, pero sin toro (control). La tasa de concepción fue de 58.7 y 40.0%, respectivamente ($P < .10$). Las vacas con toro de 5 a 7 años de edad tuvieron una tasa de concepción significativamente más alta que las vacas sin toro ($P < .05$; 9.9 vs. 27.3%), pero no se observó diferencia significativa entre vacas de otras edades.

Naasz y Miller (1990) durante 2 años seguidos expusieron un grupo de vacas a toros a partir de los 3 días postparto y otro grupo fue manejado sin toro. Fueron observadas 2 veces al día para la detección de estros por 4 semanas aproximadamente después del parto. En el primer año, las vacas expuestas a toro retornaron al estro 16 días más temprano ($P < .01$) que las vacas control, pero la diferencia fue menor en el segundo año ($P < .05$). En el primer año, el porcentaje de vacas que exhibieron estro para los 74 días postparto fue de 78 y 17%, para las expuestas a toro y las control, y de 75 y 24%, respectivamente, a los 63 días postparto en el año siguiente. Ambos grupos fueron sincronizados con implante auricular conteniendo 6 mg de norgestomet (Syncro-Mate B) administrado el día 74 y 63 postparto, respectivamente en cada año. El implante fue removido después de 9 días inseminando 48 h más tarde. La tasa de concepción y el período de servicio fue similar para ambos grupos. Las concentraciones de LH de muestras tomadas cada 15 minutos el día del estro después de la sincronización, no reveló diferencias

entre grupos en la concentración al pico de LH, o tiempo al pico de LH después de la remoción del implante.

2.3.3 Feromonas de la orina del toro y reactivación del ciclo estrual

Baruah y Kanchev (1993a) condujeron un experimento para probar si el estímulo olfatorio de la orina del toro sería suficiente para inducir el estro postparto en vacas lecheras, asignando 8 vacas al azar a dos grupos, de 14 ó 18 días postparto. La mitad de las vacas recibieron tratamiento aeronasal con orina de toro por tres días, a los 14 ó 18 días postparto. Otras 8 vacas recibieron tratamiento aeronasal con agua, a los 14 ó 18 días postparto. Las muestras de sangre fueron colectadas de cada animal antes y después de la presentación del olor, y posteriormente cada tercer día hasta el segundo estro, para analizar los perfiles de LH y P₄. Las vacas que recibieron la orina aeronasal mostraron estro ($P < .001$) a los $5.25 \pm .41$ y $3.75 \pm .65$ días, respectivamente, después del estímulo olfatorio, mientras que las vacas tratadas con agua aeronasal mostraron estro después de $28.5 \pm .83$ y $25 \pm .79$ días, respectivamente. Las concentraciones hormonales indicaron, por el criterio de un pico ovulatorio de LH y la subsecuente elevación de progesterona, que únicamente el 50% de los animales ovularon. Las vacas mostraron el segundo estro después de $16.25 \pm .54$ y $15.7 \pm .54$ días de su primer estro, respectivamente. Los resultados demuestran que el estímulo olfatorio fue efectivo para inducir la actividad cíclica del ovario y la manifestación de estro, pero no para ovular en el primer estro. El efecto de la orina de los toros fue presumiblemente mediado por el sistema olfatorio y parece implicar una vía hipotálamico-pituitaria.

Baruah y Kanchev (1993b) condujeron otro experimento para probar si el estímulo olfatorio de la orina de toro sería suficiente para estimular la secreción de gonadotropinas en el postparto en vacas lecheras, para lo cual asignaron 15 vacas al azar a 5 grupos, de acuerdo a los días después del parto. Las vacas recibieron tratamiento aeronasal con orina de toro en cualquiera de los días 1, 7, 12, 18 y 21 postparto. Muestras de sangre fueron colectadas de cada animal antes de la presentación del olor y 1.5 y 10 minutos después de la presentación del olor. Después, las muestras fueron colectadas nuevamente a intervalos de 20 minutos por 5 h,

midiendo las concentraciones de LH y FSH en el suero sanguíneo. Las concentraciones hormonales no se incrementaron en las vacas el día 1 postparto. Sin embargo, se incrementaron después del estímulo olfatorio ($P < .001$) en los días 7, 12, 18 y 21 postparto. El pico en la concentración de LH y FSH ocurrió a los 80 minutos después de la estimulación olfatoria y esa concentración retornó a nivel basal a las 4-5 h. Las concentraciones de LH y FSH variaron alta y significativamente ($P < .001$) con el día de la estimulación olfatoria, en tanto que en las vacas tratadas con agua permanecieron constantes. Estos resultados sugieren que la orina de toro induce el mecanismo por el cual las concentraciones de LH y FSH en el suero se incrementan por el estímulo del toro y en particular por las feromonas, estimulando vía olfatoria al hipotálamo para que active a la pituitaria a sintetizar y liberar LH y FSH.

2.3.4 Bioestimulación con toros e inicio de la actividad cíclica en vaquillas y vacas

Makarechian *et al.* (1985) evaluaron el efecto de toros bioestimuladores sobre el inicio de la actividad reproductiva en vaquillas de 2 años de edad, de diferentes razas y cruzas. La mitad de las vaquillas fueron expuestas a toros epididimectomizados, por 6 semanas antes de iniciar la época de empadre, y la otra mitad se mantuvo sin toros (control). La fecha de partos fue más temprana ($P < .05$) en vaquillas expuestas a toros que en las vaquillas control (113 ± 1.9 vs. 118.9 ± 1.9 días) y el período de partos fue 2 semanas más corto. La exposición a toros no tuvo efecto significativo en la tasa de concepción o peso corporal al empadre. La raza no afectó significativamente la tasa reproductiva o la fecha de partos, pero afectó significativamente el peso corporal al empadre, siendo de 293.5 ± 6.5 , 333.5 ± 4.53 , 337.6 ± 5.2 y 314.5 ± 4.5 kg, respectivamente, para las razas Hereford, sintéticas⁸ de carne, sintéticas lecheras y Hereford cruzadas. Cada kilogramo incrementado en peso corporal adelantó la fecha de parto en vaquillas Hereford expuestas a toros por .13 días ($P < .05$).

Dos experimentos fueron conducidos por Hornbuckle *et al.* (1995) para determinar el efecto de la presencia de toros en el período postparto sobre la actividad cíclica de las vacas. Un total de 72 vacas de carne cruzadas, amamantando fueron distribuidas al azar, al tiempo del parto, en 2

⁸ Razas formadas por cruzamiento controlado de dos o más razas.

grupos, uno con 4 toros estimuladores y otro grupo sin toros. Se colectaron 2 muestras de sangre, a los 67 y 76 días después del parto. Una concentración de progesterona >1.0 ng/mL en una o ambas muestras fue considerada como un indicativo de actividad cíclica. El porcentaje de vacas ciclando fue de 91 para las expuestas a toro y 83 para las mantenidas sin toro ($P < .05$). En el segundo experimento, a partir del doceavo día postparto, las vacas fueron distribuidas al azar en un grupo con toros o sin toros. Al momento de la distribución se tomó la primera muestra sanguínea para la determinación de la concentración de progesterona (día 0), y posteriormente cada tres días hasta el día 46. Las concentraciones de progesterona fueron más altas ($P < .01$) en vacas expuestas a toros (2.25 ± 3.7 ng/mL) que en vacas sin toro (9.25 ± 1.45 ng/mL). Los porcentajes de ciclos cortos y normales fueron más altos ($P < .01$) en los grupos expuestos a toros (88 y 63%, respectivamente) que en el grupo sin toro (29 y 21%, respectivamente). Alberio *et al.* (1987) condujeron dos experimentos para observar el efecto de toros estimuladores sobre la actividad ovárica de vacas reproductoras de razas productoras de carne amamantando. En el experimento 1, realizado en la primavera, las vacas fueron divididas en dos grupos. Un grupo se mantuvo en contacto con dos toros vasectomizados hasta los 58 días postparto, mientras el grupo control se mantuvo separado de los toros. Los animales fueron observados para estro 2 veces al día y fueron tomadas muestras de sangre cada 7 días para determinar la concentración de progesterona y detectar la ovulación. Las observaciones fueron hechas por 28 días. Las vacas en ambos grupos ganaron peso durante este período. En el grupo de vacas expuestas a toros, la proporción de animales en estro y ovulación fue mayor que en el grupo control al final del período de prueba; en estro, 67.9 vs. 32.7% ($P < .01$); y en ovulación, 73.6 vs. 40.4 ($P < .01$). En el grupo control hubo más estros silenciosos (42.9 vs. 28.2%). En el segundo experimento realizado en el invierno, un grupo de vacas se mantuvo en contacto con toros vasectomizados a partir de los 10 días postparto y el otro grupo se mantuvo sin toro (control). Por 100 días la detección de estro fue ejecutada 2 veces diarias. Los ovarios fueron palpados y las muestras de sangre tomadas 2 veces por semana, pesando las vacas semanalmente. Ambos grupos perdieron 17% de su peso. No hubo diferencia significativa entre grupos en el intervalo del parto al estro (55.6 ± 12 vs. 67.3 ± 17 días), ni del parto a la actividad ovárica determinada por palpación rectal (45.6 ± 21 vs. 47.2 ± 12 días). El intervalo del parto a la ovulación fue más largo en el grupo control que en el de vacas

expuestas a toros, siendo 53.2 ± 15 vs. 36.3 ± 13 días ($P < .05$). En el grupo control y en el de vacas con toro, el 89 y el 22%, respectivamente, de las ovulaciones no fueron seguidas por un estro. Por consiguiente, el contacto con los toros resultó en una incrementada incidencia de estro y estimulación de la actividad ovárica.

2.3.5 Bioestimulación, condición corporal al parto y duración del anestro postparto

En una investigación realizada por Monje *et al.* (1983) observaron que la presencia de toros acortó el intervalo del parto a la iniciación de los ciclos estruales en las vacas que ganaron peso, pero no en vacas que perdieron peso durante el período postparto. En cambio, Strumpf *et al.* (1992) encontraron una interacción significativa ($P < .05$) entre la condición corporal al parto y la presencia de toros en el postparto, sobre la duración del anestro postparto. Las vacas con más baja condición corporal al parto (4.9 en escala de 1 a 9), que tuvieron la presencia de toros después del parto iniciaron el ciclo estrual 14 días más temprano que las vacas con condición similar que estuvieron separadas de los toros. En las vacas con mayor condición corporal, (5.9 en escala de 1 a 9), la presencia de toros después del parto, únicamente acortó el anestro postparto por 6 días. El intervalo del parto al estro fue de 58 ± 2 , 44 ± 2 , 50 ± 2 y 44 ± 2 días, respectivamente, para condición corporal baja-sin toros, condición corporal baja-con toros, condición corporal alta-sin toros, y condición corporal alta-con toros.

2.3.6 Bioestimulación y concentración de progesterona (P4) en el período postparto

Zalesky *et al.* (1984) y Burns y Spitzer (1992) utilizaron toros vasectomizados y vacas tratadas con testosterona como bioestimuladores de estro en el período postparto, encontrando que las vacas bioestimuladas desde el momento del parto, retornaron al estro más rápidamente que las vacas que no fueron bioestimuladas. La presencia de toros de los 3 a los 85 días postparto, incrementó la proporción de las vacas que mostraron incremento de progesterona antes del primer estro. La relación vacas:toro fue de 20:1. Las vacas bioestimuladas entraron en estro desde los 39 ± 2 días vs. 61 ± 3 días ($P < .01$) en las que no fueron bioestimuladas. El

porcentaje que presentó estro a los 53 días postparto fue de 86% en las vacas bioestimuladas y 23% en las no bioestimuladas.

2.3.7 Bioestimulación, edad de la vaca y concentración de progesterona

Nezhdanov y Solov'ev (1984) expusieron diariamente vacas de 5 a 8 años de edad, a toros bioestimuladores y la detección de estros se realizó por observación y el auxilio del toro. Muestras de sangre fueron colectadas 3 días antes del inicio esperado del estro, al estro, al estro estático, 4-6 h después de la ovulación, y 3, 7 y 14 días después del estro estático. La concentración de progesterona promedió .6 ng/mL en el día 3 del ciclo, 3.88 ng/mL en el día 7, 2.77 ng/mL en el día 14, 1.6 ng/mL 3 días antes del inicio esperado del estro y .36 ng/mL al estro, estro estático y la ovulación. La concentración de estradiol promedió 28.8 pg/mL el día 14, 38.3 pg/mL 3 días antes del inicio esperado del estro, 16.2 pg/mL al estro estático, y 18.7 pg/mL a la ovulación. La concentración de andrógenos se incrementó de 54.2 pg/mL el día 7, a 73.9 pg/mL el día 14, y 92.9 pg/mL al estro estático, y disminuyó a 61.9 pg/mL a la ovulación.

2.3.8 Bioestimulación, raza y concentración de progesterona

Vacas de diferentes razas fueron muestreadas diariamente durante un ciclo estroal por Diaz *et al.*(1986) para determinar las concentraciones de progesterona en el plasma. El estro fue detectado por observación visual y usando toros bioestimuladores con marcador de barbilla. No observaron diferencia en los perfiles de progesterona entre grupos. En vacas Holstein, la concentración de progesterona en el plasma varió de .5 ng/mL el día del estro (día 0) a 5.1 ng/mL en el pico de la fase lútea (día 13). Para vacas Brahman, el rango fue de .5 ng/mL el día 0 a 13.7 ng/mL el día 12. En vacas cruzadas el rango varió de .5 ng/mL el día 0, a 8.8 ng/mL el día 13. En todos los grupos, la concentración de progesterona fue menor a 1 ng/mL un día antes del próximo estro, y valores de .4, .5 y .4 fueron observados el día del estro, respectivamente, para cada tipo racial.

2.3.9 Bioestimulación y manifestación de estros antes y después del empadre

Scott (1984) realizó un experimento para examinar el efecto de introducir toros vasectomizados 3 semanas antes de introducir los toros enteros al empadre sobre la incidencia de estros antes y durante el período de empadre. Se formaron 4 grupos con 20 vacas y 2 toros vasectomizados en cada uno, y otros 4 grupos de 20 vacas en cada uno pero sin toro (control). Las vacas de ambos tratamientos tuvieron un peso similar ($P > .05$). Para la detección de estros se utilizó una combinación de pintura en la cola, marcador de barbilla y observación del comportamiento. En los 21 días las vacas con toro presentaron significativamente más estros ($P < .05$; 26 vs. 3%, respectivamente) y su intervalo medio postparto fue 4 días más corto que en las vacas control. Los toros bioestimuladores no incrementaron la proporción de vacas que exhibieron estro en los primeros 21 días de la entrada de los toros enteros.

2.3.10 Bioestimulación y amamantamiento sobre manifestación de estros y gestación

Butler *et al.* (1983) establecieron un experimento con vacas primíparas Hereford, de los 84 a los 121 días postparto. Las vacas que no recibieron tratamiento fueron testigo, otras fueron separadas de sus becerros por 48 h previas al empadre, o fueron separadas de sus becerros y expuestas a toros bioestimuladores. El 64, 57 y 68%, respectivamente, exhibieron estro dentro de los 30 días del inicio del experimento. El 68, 46 y 72% de las vacas en estro concibieron a la primera inseminación. De los 122 a 155 días, 64, 70 y 80% de las vacas manifestaron estro, de las cuales 80, 71 y 57% quedaron gestantes, respectivamente, concluyendo que el destete temporal después de 80 días postparto no tiene un efecto benéfico en el comportamiento reproductivo de vacas primíparas, pero la bioestimulación con toro acorta el período de anestro.

2.4 Destete temporal y comportamiento reproductivo

Uno de los factores al que se le atribuye una mayor importancia relativa en la duración del anestro postparto es el apoyo y amamantamiento del becerro (Williams *et al.*, 1987). Los

mecanismos que controla la duración del periodo de anestro postparto no son bien conocidos, aunque parece que la liberación episódica de LH de la pituitaria anterior puede ser un pre-requisito para la reanudación de la actividad ovárica (Peters y Lamming, 1986).

2.4.1 Amamantamiento como un regulador de la reproducción postparto

El amamantamiento es un estímulo exteroceptivo que juega un papel muy importante en la regulación de los ciclos reproductivos (Edgerton, 1980). Short *et al.* (1990) consideran que el amamantamiento y la nutrición son los dos principales factores que afectan el intervalo postparto, pero cada uno de estos factores puede interactuar con otros, como la estación de parición, genotipo, parto distócico, presencia de toros, edad de la vaca y otros. Un extenso y variable periodo de anovulación y anestro ocurre en vacas de carne amamantando después del parto. Esto impone restricciones biológicas y económicas sobre la eficiencia de producción de carne. Este problema ha sido asociado a una atenuación de señales neuroendócrinas que promueven la función gonadal. Durante la gestación tardía, altas concentraciones de estrógeno placentario inhiben la síntesis de LH, y la LH almacenada en la pituitaria es vaciada por completo al parto. El máximo almacenamiento de LH en la pituitaria, la mayor liberación de LH y la habilidad de los centros hipotalámicos para responder a un efecto de retroalimentación positivo de estradiol ocurre entre 3 a 4 semanas después del parto en vacas amamantando. Sin embargo, el patrón requerido de secreción pulsátil de LH, el cual conduce a cambios similares en vacas no amamantando entre 2 a 3 semanas después del parto, ocurre únicamente en 30 a 50% de los animales amamantando. El periodo de aciclicidad, que continúa en las vacas restantes, es acentuado por una pobre condición corporal y puede persistir en algunas hembras por periodos que exceden los 100 días (Williams, 1990).

Hoffman *et al.* (1996) realizaron un experimento para determinar como la presencia del becerro afectaba la duración de la anovulación postparto, para lo cual utilizaron vacas con condición corporal de 4 a 6 ($\bar{X} = 5.0 \pm .1$, en escala de 1 a 9) con ubre intacta y sus becerros, distribuidas al azar en tres tratamientos, iniciando de 4 a 9 días postparto. Los tratamientos fueron: (1) presencia del becerro con ilimitado contacto con sus madres, (2) restricción del

becerro a evitar el contacto inguinal con sus madres, y (3) separación del becerro de su madre. Los becerros de los tratamientos 1 y 2 fueron destetados a las 5 semanas. Considerando la medición diaria de progesterona, el día de la ovulación después del inicio de los tratamientos fue significativamente diferente ($P < .01$), siendo de 35.4 ± 2.2 , 22.5 ± 2.2 , y 14.3 ± 2.2 días para los tratamientos 1, 2 y 3, respectivamente. El porcentaje de estros a la primera ovulación fue de 28.6, 25.0 y 37.5, respectivamente. La duración de ciclos cortos fue de 11.1, 8.1 y 9.4 días, respectivamente. El porcentaje de ciclos cortos de < 12 días, fue de 71.4, 100 y 87.5%, respectivamente. Los ciclos cortos contribuyen a la infertilidad postparto y se presentan generalmente antes de los 40 días. Después de los 40 días la mayoría de los ciclos estruales tienen una duración normal, aunque hay evidencias de que ciclos estruales cortos también pueden ocurrir más tarde (Short *et al.*, 1990).

2.4.2 Efecto del amamantamiento sobre la secreción hormonal postparto

El amamantamiento inhibe la liberación pulsátil de LH y demora la primera ovulación postparto en ganado bovino por un promedio de 45-60 días. La remoción del becerro a las 2 semanas postparto produjo una rápida elevación de la frecuencia pulsátil de LH entre 2 y 6 días con la mayoría de las vacas exhibiendo esta respuesta en 48 h (Williams y Griffit, 1995). Se ha demostrado que el amamantamiento del becerro deprime los niveles de LH y la frecuencia pulsátil de LH (Carruthers y Hafs, 1980) y que un incremento en el nivel de nutrición puede incrementar la secreción de LH (Echternkamp *et al.*, 1982). Parece ser que la separación temporal del becerro incrementa el estado de energía de la vaca por un período corto, lo que incrementa la frecuencia pulsátil de LH. También se ha demostrado que la separación temporal del becerro incrementa la respuesta de la pituitaria a la GnRH (Dunn *et al.*, 1985).

En un experimento realizado por Stagg *et al.* (1998) con vacas con condición corporal de $2.3 \pm .1$ en escala de 1 a 5, alimentadas en el postparto con 80 o 120 Mj de energía metabolizable y con (1) amamantamiento *ad libitum*, (2) amamantamiento una vez al día, con el becerro alojado en un corral adyacente o (3) amamantamiento una vez al día, con el becerro en un corral alejado. El intervalo postparto a la primera ovulación fue similar para ambas dietas ($P > .10$; 62

y 63 días, respectivamente), pero fue diferente por efecto del tipo de amamantamiento ($P < .10$; 79, 62 y 51 días, respectivamente). Estos resultados indican que el “efecto amamantamiento” en vacas de carne es el principal factor que afecta la duración del intervalo postparto y sugiere que el contacto maternal es más importante que el amamantamiento en la regulación de la frecuencia pulsátil de LH, factor clave que indica si un folículo dominante ovula o no. La remoción del amamantamiento produjo un rápido incremento en la frecuencia pulsátil de LH, la cual no dependió del nivel de nutrición. Al día 29 postparto, un día antes de iniciar los tratamientos de amamantamiento, el número medio de pulsos de LH/h fue de $.18 \pm .03$ y para el día 34 los pulsos de LH fueron superiores ($P < .05$) en el tratamiento de amamantamiento restringido, con los becerros alojados en corrales distantes a los de las vacas ($.48 \pm .06$), mientras que en los otros dos fueron $.21 \pm .04$ y $.23 \pm .05$ pulsos/h, respectivamente, mientras la frecuencia pulsátil de LH no fue diferente en ese tiempo ($P > .05$).

2.4.3 Amamantamiento, neuropéptido Y (NPY) y modulación de hormona luteinizante (LH)

El neuropéptido Y (NPY) y el amamantamiento son potentes inhibidores de la liberación de LH. En vacas ovariectomizadas, una dosis de 500 μ g de NPY causó inmediata cesación de los pulsos de LH y disminuyó ($P < .001$) las concentraciones de LH en el plasma por al menos 4 h. Esto correspondió con la declinación en la amplitud y frecuencia de GnRH ($P < .05$), pero los pulsos de GnRH fueron completamente inhibidos por 1.5 a 3 h, únicamente. En vacas intactas en anestro, la frecuencia pulsátil de GnRH no presentó diferencias antes, ni 48-54 h después del destete en el día 18 postparto, pero las concentraciones de GnRH, y la amplitud de los pulsos de GnRH, se incrementaron en asociación con el destete ($P < .05$) después de los 25 días postparto, y se elevó la secreción de LH (Gazal *et al.*, 1998).

Las evidencias sugieren que el péptido NPY actúa como un neuromodulador de enlace entre el estado nutricional y el eje reproductivo central (McShane *et al.*, 1992). Este péptido es un potente agente oxigénico y es altamente expresado en el hipotálamo, pituitaria anterior y tejido adiposo, incrementándose dramáticamente en el fluido cerebroespinal (FCE) del tercer

ventrículo durante la desnutrición, y negativamente modula la secreción de LH cuando es infundada centralmente (Dyer *et al.*, 1997).

Un bajo nivel de nutrición también influye retrasando la reanudación de la actividad ovarica (Rutter y Randel, 1984). Gazal *et al.* (1998) indican que el amamantamiento no inhibe tan fuertemente la tasa de actividad neuronal en ganado bien alimentado después de la segunda o tercera semana postparto, aunque el destete inducido incrementó la frecuencia pulsátil de LH y las concentraciones de LH en plasma ocurriendo coincidentemente con incrementos en las concentraciones basales y superiores de GnRH en el fluido cerebroespinal (FCE) del tercer ventrículo y la amplitud pulsátil de GnRH, sin cambios en la frecuencia pulsátil de GnRH. Sin embargo, de acuerdo a los resultados, el GnRH de gonadotrófos cebados y, por consiguiente, con sensibilidad incrementada a niveles fisiológicos de GnRH, puede ser un importante factor en la evaluación de la pulsatilidad de la LH durante la recuperación postparto. Se observó un patrón de alta frecuencia de bajo nivel en los pulsos de GnRH en el FCE, ocurriendo mucho antes que el desarrollo de un factor similarmente frecuente para LH. Esto sugiere que se han recuperado los efectos del parto y el amamantamiento, los cuales ocurren en forma escalonada, incluyendo la repleción de la pituitaria anterior almacenadora de LH y el incremento en el pulso generador de la actividad de la GnRH.

2.4.4 Destete temporal y retorno al estro.

Los períodos de empadre y pariciones son frecuentemente extensos en un intento por reducir la proporción de vacas improproductivas. Esto hace que el manejo de los hatos de ganado de carne se dificulte y tenga efectos detrimentales sobre la eficiencia biológica y productiva (Wright *et al.*, 1987). Uno de los mayores componentes de la pobre eficiencia reproductiva en el ganado de carne es el extenso período de anestro postparto. Peters y Riley (1982) encontraron que el lapso medio del período anovulatorio en tres hatos diferentes varió en un rango de 24 a 48 días. Para lograr un intervalo entre partos de 365 días, el período del parto a la concepción no debe ser mayor de 80 días.

El amamantamiento tiene un efecto inhibitorio sobre el retorno al estro (Laster *et al.*, 1973). Esto condujo a la teoría de que la remoción temporal del estímulo del amamantamiento puede ayudar a acortar la longitud del período del anestro postparto, y en algunos estudios se ha demostrado que la remoción temporal del becerro o la prevención del amamantamiento reduce el período del parto al primer estro (Holness *et al.*, 1978; Smith *et al.*, 1979). Hernández Fernández *et al.* (1998) evaluaron la influencia del destete temporal por 48 h y el uso de implantes de norgestomet sobre el comportamiento reproductivo en vacas con 90 días postparto. Los tratamientos fueron: (1) implante + destete temporal (I+DT), (2) destete temporal (DT) y (3) sin implante y sin destete temporal (C). El intervalo del parto al primer estro fue afectado por los tratamientos ($P < .01$), siendo más breve para las vacas con I+DT que para los otros dos tratamientos (11.70 ± 38.43 , 143.63 ± 6.70 y 165.63 ± 57.98 días, respectivamente).

Fue evidente que 4 días después de reducir la frecuencia del amamantamiento y romper la asociación vaca-becerro, hubo un incremento al doble en la frecuencia de pulsos de LH, y el 50% de esas vacas ovularon dentro de los siguientes 6 días. En contraste, no hubo incrementos en la frecuencia de pulsos de LH en vacas que estuvieron al lado de sus propios becerros, justo cuando la frecuencia del amamantamiento fue reducida. Esto sugiere, que en el período de anestro postparto, la asociación maternal vaca-becerro es más importante que el amamantamiento en la regulación de la liberación de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) y en consecuencia, la frecuencia del pulso de LH. Una similar elevación en la frecuencia del pulso de LH fue observada 24 a 48 h después del destete temporal por otros investigadores (Williams *et al.*, 1993; Williams *et al.*, 1987; Walters *et al.*, 1982), aunque hay evidencias de que ese incremento puede ser atenuado por el retorno de los becerros con sus madres (Shively y Williams, 1989). En un estudio realizado por Stagg *et al.* (1998), un incremento agudo en la frecuencia del pulso de LH ocurrió cuando las vacas fueron amamantadas una vez al día. El rápido incremento en la frecuencia del pulso de LH y la reanudación de la ovulación, después de la remoción del efecto del amamantamiento mostró que la mayoría de las vacas amamantando, que no estuvieron seriamente comprometidas

nutricionalmente, fueron capaces de ovular a los 30–40 días postparto, pero el efecto de asociación vaca–becerro al mismo tiempo evitó que ovularan.

Los cambios específicos en las hormonas gonadotrópicas FSH, en la regulación de la emergencia de la onda folicular, y LH, en la determinación del destino del folículo dominante, son determinantes del tiempo de la primera ovulación postparto. Hay incrementos recurrentes en las concentraciones plasmáticas de FSH de 1 a 4 días antes de la emergencia de cada nueva onda folicular no ovulatoria en el anestro postparto en vacas de carne amamantando, con la máxima concentración en el día inmediato anterior a la nueva onda emergente. Estos cambios en FSH son similares a los que ocurren el día inmediato anterior a la emergencia de la nueva onda folicular durante el ciclo estrual (Adams *et al.*, 1992; Sunderland *et al.*, 1994), y antes de la pubertad en vaquillas (Evans *et al.*, 1994a; Evans *et al.*, 1994b). Las concentraciones de FSH no fueron afectadas por la nutrición o por la asociación vaca-becerro. Parece ser que las concentraciones y patrones de FSH durante el período de anestro postparto no son factores limitantes que conduzcan a atresia antes de la ovulación del folículo dominante. La concentración media de LH y la frecuencia del pulso se incrementaron linealmente, la duración del pulso disminuyó y no hubo cambios en la amplitud del pulso, con cada onda folicular anovulatoria precediendo a la onda ovulatoria.

La concentración del IGF-I fue baja en todas las vacas al día 25 postparto y continuó baja por más de 35 días postparto en vacas con amamantamiento *ad libitum*. Sin embargo, en el amamantamiento restringido con el becerro en el corral contiguo, o en el amamantamiento restringido con el becerro alojado en un corral distante, con los cuales las vacas fueron inducidas a ovular por la remoción del efecto del amamantamiento, las concentraciones del IGF-I fueron incrementadas dentro de los 5 días del amamantamiento restringido, con o sin separación del becerro. La concentración del IGF-I se incrementó linealmente hasta la primera ovulación postparto. Un patrón similar de elevación de la concentración, > 40%, del IGF-I durante las primeras 2 semanas después del parto fue observado en vacas lecheras que ovularon el primer folículo dominante postparto, comparadas con vacas en las cuales el primer folículo dominante falló en la ovulación (Beam y Butler, 1997).

2.5 Sincronización de estros y control de la ovulación

Para llevar a cabo un buen programa de mejoramiento genético se ha utilizado la inseminación artificial. Un programa de inseminación artificial tendrá éxito en la medida en que se facilite la detección de estros y una de las técnicas usadas para este fin es la sincronización de estros y el control de la ovulación por medios hormonales, para llevar a cabo la inseminación en un período muy corto, aplicando el semen en el aparato reproductor de la hembra en el momento más oportuno para que quede fecundada y lleve su gestación a término (Odde, 1990).

Un programa de sincronización de estros efectivo acorta la estación de cría. Las vacas y vaquillas pueden entrar a un programa de IA más eficientemente, y en la siguiente parición, la edad y el peso de los becerros es más uniforme (Odde, 1990). Los tratamientos que implican inyecciones simples de GnRH, implantes de norgestomet (Troxel *et al.*, 1993), acetato de melengestrol en el alimento (Patterson *et al.*, 1989), con o sin remoción temporal del becerro, son usados para inducir la ovulación y/o el estro en vacas acíclicas amamantando. La $\text{PGF}_{2\alpha}$ no se usa sola para inducir el estro en vacas acíclicas en el postparto, porque su acción es luteolítica y las vacas acíclicas no poseen un cuerpo lúteo, pero puede ser utilizada en combinación con progestágenos o GnRH (Stevenson *et al.*, 1997).

2.5.1 Prostaglandina $\text{F}_{2\alpha}$ y hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) en la sincronización de estros y ovulación

La $\text{PGF}_{2\alpha}$ tiene una acción luteolítica y la GnRH estimula a la pituitaria para que produzca FSH que actúa en el desarrollo folicular. La LH que actúa sobre el folículo para su maduración y ovulación, y posteriormente en la formación del cuerpo lúteo, el cual va a producir progesterona. En un experimento conducido por Stevenson *et al.* (1997) para inducir o sincronizar la ovulación en vaquillas y vacas amamantando, formaron dos grupos, para establecer dos programas reproductivos: (1) aplicación de dos inyecciones de 25 mg de $\text{PGF}_{2\alpha}$ con 14 días de diferencia, y (2) 25 mg de $\text{PGF}_{2\alpha}$ y 7 días más tarde 100 μg de GnRH + implante

con 6 mg de norgestomet; una segunda inyección de PGF_{2α} el día 14, y retirada del implante el día 15. Las vacas se inseminaron de las 12 a las 16 h de iniciado el estro, cuando este fue detectado antes de las 54 h después de la segunda inyección de PGF_{2α}. Las vacas que no presentaron estro en este período, recibieron una segunda dosis de GnRH y se inseminaron de 18 a 20 h más tarde. El porcentaje de hembras acíclicas con subsecuente elevación de P₄ en el día 14 ó 15 después del inicio, no presentó diferencias entre tratamientos (2.4 vs. 25%), pero la tasa de concepción fue superior (P < .05) en hembras no ciclando tratadas, que en el control no ciclando (55 vs. 12.8%). Las tasas de concepción en vacas tratadas ciclando (59.2%) y sin ciclar (62.2%) fueron similares a las de las vacas control ciclando (56.2%), pero mayores (P ≤ .06) que en las vacas control sin ciclar (26.5%). La tasa de concepción en hembras tratadas, inseminadas 12 a 16 h después de la detección del estro (63.1%) o a un tiempo fijo (58.3%) fueron similares a las de las vacas control inseminadas de las 12 a 16 h después de detectar el estro (68.7%). Estos tratamientos produjeron mayor fertilidad después de la inseminación a un tiempo determinado, que fue igual al de las vacas control inseminadas después de detectar el estro, e indujeron igualmente ovulaciones fértiles en vaquillas y vacas sin ciclar.

Twagiramungu *et al.* (1992) observaron que el pretratamiento con GnRH, 6 días antes de la administración de PGF_{2α}, eliminó la necesidad de detección de estros durante el día 0 al 6 sin disminuir la preñez y la tasa de concepción. Para lograr una similar tasa de concepción en vacas acíclicas y vacas ciclando cuando la inseminación fue realizada después de detectar estros o en un tiempo fijo requirió de una programación sistemática de varios efectos fisiológicos. Para hembras ciclando, el desarrollo y maduración de un folículo dominante fue sincronizado con una regresión lútea. Esto fue realizado por una lisis del cuerpo lúteo con la primera inyección de PGF_{2α} y subsecuentemente regresando al primer folículo desarrollado o folículo dominante 7 días más tarde con la primera inyección de GnRH. Una inyección de GnRH dada al azar en cualquier estado del ciclo estrual indujo ovulación del folículo dominante alrededor del 83% de las veces en vacas y 45% en vaquillas vírgenes (Pursley *et al.*, 1995), pero fue más efectivo cuando el GnRH fue administrado durante la fase de crecimiento de un folículo dominante (Silcox *et al.*, 1993). La ovulación del folículo dominante fue seguida en 1 ó 2 días con una nueva onda de folículos antrales, uno de los cuales se transformó en dominante y fue capaz de

ovular espontáneamente (Twagiramungu *et al.*, 1995) o después de una segunda inyección de GnRH, seguida por una inyección de PGF_{2α} 48 h más tarde (Pursley *et al.*, 1995). El fracaso en la producción de un folículo dominante por inyección de GnRH en vacas tratadas con norgestomet sin un cuerpo lúteo, puede producir un folículo persistente por causa de la incrementada frecuencia en el pulso de LH (Sanchez *et al.*, 1995). Cuando se usó norgestomet en vacas que carecían de un cuerpo lúteo funcional, el desarrollo de un folículo dominante de gran diámetro estuvo asociado con una elevada concentración de estradiol en el suero (Sanchez *et al.*, 1995; Smith y Stevenson, 1995) y una reducida tasa de concepción (Smith y Stevenson, 1995) en relación a las vacas control tratadas con norgestomet, pero teniendo un cuerpo lúteo funcional.

2.5.2 Progestágenos en la sincronización de estros y ovulación

El Syncro-Mate B (SMB) está compuesto por un implante conteniendo 6 mg de norgestomet y por una inyección con 3 mg de norgestomet + 5 mg de valerato de estradiol. El SMB es un sincronizador comercial aprobado para el uso en vaquillas de razas lecheras y de carne y en vacas de carne después del parto. La manifestación de estros después del tratamiento con SMB varía de 77 a 100%, con tasas de concepción en un rango de 38 a 68% (Odde, 1990). El norgestomet es un progestágeno ligado a receptores de progesterona del útero, con ocho veces mayor afinidad que la progesterona (Moffatt *et al.*, 1993). El estradiol puede incrementar el número de receptores uterinos de progesterona (Ottobre *et al.*, 1984). Por lo tanto, la acción progestágena del norgestomet combinada con el posible incremento en receptores de P₄ debido al valerato de estradiol, puede reducir el período de exposición a P₄ requerido por el útero para la liberación de PGF_{2α} (Hampton *et al.*, 1999). Un análisis de ligadura de receptores y un análisis estrógeno-sensitivo en cultivo de tejidos fue usado para examinar la posibilidad de que algunos efectos del norgestomet son mediados a través de interacciones con receptores de hormonas esteroides o receptores de P₄ en el útero. Los receptores fueron preparados de endometrio uterino de vacas cíclicas. Los resultados de los análisis de competencia completa indicaron que el norgestomet compitió más efectivamente que la progesterona por una ligadura específica de [3H] progesterona o receptores de progesterona (Moffatt *et al.*, 1993).

Incrementando la dosis inicial de norgestomet inyectable produjo que menos vacas tratadas en el metaestro conservaran un CL funcional que las que recibieron el tratamiento estandar (Fanning *et al.*, 1992). La administración en el diestro de SMB resultó en 96% de vacas exhibiendo un estro sincronizado (Pratt *et al.*, 1991). Por consiguiente, el mantenimiento de un CL funcional en vacas tratadas con SMB puede ser dependiente de la cantidad y/o de la duración de la exposición del útero a la progesterona.

En vacas y vaquillas con bajos niveles de progesterona endógena, exógena natural (Savio *et al.*,1993) y progestágenos sintéticos (Sanchez *et al.*, 1995; Savio *et al.* 1993a), a dosis prescritas, no regularon la secreción de la hormona luteinizante (LH) de la misma manera que lo hicieron las concentraciones de progesterona (P_4) típicamente secretadas por el cuerpo lúteo (CL). Cuando se sustituye la progesterona endógena por progestágeno, la secreción pulsátil de LH es incrementada. con el resultado de que el folículo dominante continúa con su crecimiento y se convierte en persistente (Cupp *et al.*, 1992; Rajamahendran y Taylor, 1991; Sirois y Fortune, 1990). El folículo dominante proporciona una estrecha sincronía del estro y la ovulación para formar un CL después de retirar el progestágeno exógeno (Kojima *et al.*,1992; Robertson *et al.*,1989; Wehrman *et al.*, 1993a; Wehrman *et al.*,1993b). La fertilización también parece ser normal después de la ovulación de un folículo dominante persistente. Sin embargo, la pérdida embrionaria temprana es frecuentemente incrementada, reduciendo el porcentaje de concepción después de una sincronización basada en progestágenos (Ahmad *et al.*,1995).

Bo *et al.* (1995) sincronizaron vacas de carne cruzadas y vaquillas utilizando un progestágeno. Un grupo de vacas no recibió tratamiento (control) y el otro grupo recibió un implante de norgestomet en la oreja a los 2, 5 u 8 días después de la ovulación y una inyección intramuscular de 17β -estradiol (5 mg) 3, 6 ó 9 días después de la ovulación (día 0) hasta la remoción del implante de norgestomet, 4 días después de la emergencia de la onda folicular postratamiento. El tiempo medio de la cesación del desarrollo y el inicio de la regresión del folículo dominante de la primera onda folicular fue más temprano en vacas y vaquillas tratadas en el día 3 que en el grupo control (3.6 vs. 5.6 días y 7.0 vs. 11.0 días, respectivamente). El

tratamiento en el día 9 resultó en una cesación más temprana del desarrollo e inicio de la regresión del folículo dominante y el folículo subordinado más grande de la segunda onda folicular comparado con el grupo control (9.6 vs. 13.4 días y 11.5 vs. 17.1 días, respectivamente). La emergencia de la segunda onda folicular fue más temprana en las vaquillas tratadas en el día 3 (7.3 días) y más tarde en las tratadas en el día 6 (10.7 días) que en el grupo control (8.6 días). El tratamiento en el día 9 resultó en una emergencia más temprana de la tercera onda folicular (13.1 días) que en el grupo control (15.3 días). El intervalo desde el tratamiento a la emergencia de la onda no tuvo diferencia entre grupos tratados (4.3 días después de la inyección de 17β -estradiol). Esto soporta la hipótesis de que el tratamiento con norgestomet más 17β -estradiol resulta en una consistente emergencia de una nueva onda folicular, sin consideración del estado de desarrollo del folículo dominante al tiempo del tratamiento.

La predecible respuesta del estro al tratamiento con SMB ha hecho que sea incorporado en muchos sistemas de sincronización para inseminación a tiempo determinado o en un período muy corto. Sin embargo, una disminución en la respuesta al estro ha sido reportada cuando el SMB fue administrado durante el metaestro (Burns *et al.*, 1993). La respuesta al estro para vacas tratadas en el postparto durante el metaestro fue reportada tan baja como un 23% (Pratt *et al.*, 1991). Estas disminuciones en las respuestas fueron debidas a la presencia de un cuerpo lúteo (CL) funcional secretando niveles de progesterona (P_4) superiores a 1 ng/mL al remover el implante. El ganado responde a la sincronización de estros cuando exhibe una completa regresión lútea antes de remover el implante ($P_4 < 1$ ng/mL). Por consiguiente, el éxito del tratamiento con SMB depende del desarrollo de un CL incapaz de un prolongado crecimiento o de una liberación temprana de una sustancia luteolítica.

Burns *et al.* (1993) no reportaron diferencias en la concentración media de LH o en el número de pulsos entre vacas desarrollando un cuerpo lúteo funcional antes que las vacas sin CL funcional, cuando fueron tratadas con SMB durante el metaestro. Estos resultados sugieren que el desarrollo de un CL de vida corta no es resultante de un inadecuado soporte de gonadotropina, sino más bien de una prematura liberación de una sustancia luteolítica. La

concentración periférica de la prostaglandina F M (PGFM) ha mostrado una alta correlación con la secreción uterina de $\text{PGF}_{2\alpha}$ en vacas en el postparto (Guilbault *et al.*, 1984).

Hampton *et al.* (1999) encontraron que la concentración media de PGFM en el día 2 fue de 75.1, 67.2 y 67.9 pg/mL ($P \geq .65$) para vacas control, vacas tratadas con SMB teniendo un CL funcional y vacas tratadas con SMB sin tener un CL funcional, respectivamente. Sin considerar la función del CL, la concentración media de PGFM en el suero no tuvo diferencia ($P \geq .13$) entre vacas tratadas con SMB y vacas control, desde el día 2 AM hasta el día 7 PM. Sin embargo la concentración media de PGFM en el suero tendió ($P \leq .06$) a incrementarse en las vacas tratadas sin CL funcional vs. las vacas control en el día 8, y fue mayor ($P \leq .04$) que en vacas tratadas teniendo un CL funcional para el día 8 PM. La concentración media de PGFM en el suero fue más alta en vacas tratadas con SMB sin tener un CL funcional (CLNF) que en las vacas control y en las vacas con CL funcional (CLF) en el día 9 AM y 9 PM ($P \leq .02$). En el día 10 AM, antes de la administración de $\text{PGF}_{2\alpha}$, la concentración media de PGFM en el suero no tuvo diferencias entre grupos ($P \geq .25$). Después de la inyección de $\text{PGF}_{2\alpha}$ en el día 10 PM, la concentración media de PGFM fue más alta ($P \leq .02$) en vacas que recibieron $\text{PGF}_{2\alpha}$ (SMB/PG-CLF, SMB/PG-CLNF) que en las vacas que no recibieron $\text{PGF}_{2\alpha}$ (control, SMB-CLF, SMB-CLNF), en el día 11 AM tampoco se observaron diferencias ($P \geq .05$), pero en el día 12 AM la concentración de PGFM en el suero fue más alta ($P \leq .04$) en vacas tratadas con SMB-CLF, que en las vacas control en el día 11 PM, y tendió a ser más alta hasta el día 14 AM.

2.5.3 Progestágenos y hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) en la sincronización de estros y ovulación

Cuando el estado reproductivo de las vacas (período de presincronización) fue determinado por medición de la concentración de progesterona en la sangre a los 13 y 23 días antes del tratamiento con GnRH y norgestomet, se demostró que el 62 % de las vacas estaban en anestro y 38 % estaban ciclando. El tratamiento con GnRH incrementó ($P < .01$) la incidencia de fases

luteales cortas en vacas en anestro presincronizado. El norgestomet incrementó ($P < .05$) el porcentaje de preñeces después de la inseminación para vacas que estuvieron en anestro o ciclando durante el periodo de sincronización, incrementándose también el porcentaje de preñeces ($P < .05$) con la aplicación de GnRH (Troxel *et al.*, 1993).

2.5.4 Progestágenos y prostaglandina en la sincronización de estros y ovulación

Sanchez *et al.* (1993) sincronizaron vacas y vaquillas con implantes de SMB aplicados 7 días después del estro (estro= día 0) y fueron removidos el día 17. Además recibieron $PGF_{2\alpha}$, unas el día 7 del ciclo estrual y otras el día 17. Todas las que mostraron estro fueron inseminadas 12 h más tarde, siendo detectadas en un periodo de 7 días después de remover el implante. Las vacas y vaquillas que recibieron la $PGF_{2\alpha}$ el día 17, al momento de retirar el implante tuvieron mayor porcentaje de partos ($P < .01$) que las que la recibieron el día 7, al momento de aplicar el implante [87 y 78 % en vacas y 58 % en vaquillas (día 17) vs. 31 y 44 % para vacas y 41 % para vaquillas (día 7)]. Estos resultados soportan la hipótesis de que el porcentaje de concepciones después del tratamiento con SMB con presencia de cuerpo lúteo es superior que en las vacas tratadas con SMB en ausencia de cuerpo lúteo.

2.5.5 Progestágeno, hormona liberadora de gonadotropinas y prostaglandinas en la sincronización de estros y ovulación

El tratamiento con GnRH + norgestomet inicialmente indujo la ovulación o la involución del folículo más grande, inducción de una nueva onda folicular, seguida más tarde por una incrementada concentración de 17β -estradiol y progesterona. Después la $PGF_{2\alpha}$, más que la GnRH indujo la liberación de LH ocurrida en vacas tratadas con GnRH + norgestomet antes de la ovulación, y las tasas de preñez fueron superiores después de la inseminación artificial a tiempo fijo (Thompson *et al.*, 1999). Vacas en anestro postparto tratadas con GnRH ovularon, y cuando el GnRH fue precedido por tratamiento con progestina y la remoción del becerro, la ocurrencia de ciclos de fase luteal corta fueron reducidos marcadamente (Toxel *et al.*, 1993). En adición, pequeñas dosis de progestágenos en ausencia de un cuerpo lúteo incrementó la

frecuencia pulsátil de LH, ocurrencia de folículos dominantes persistentes, y concentraciones de 17β -estradiol pero redujo la fertilidad (Smith y Stevenson, 1995). En contraste, cuando la administración de GnRH precedió al tratamiento con progestágeno seguido en 7 días más tarde por la administración con $\text{PGF}_{2\alpha}$, la tasa de preñez fue incrementada en vacas de carne amamantando, tanto ciclando como acíclicas (Forbes *et al.*, 1997) indicando que sin la remoción del becerro la GnRH + norgestomet pudieron restaurar la actividad lútea normal y reducir la ocurrencia de fases lúteas cortas. Además, cuando la ovulación fue sincronizada en vacas amamantando, usando GnRH, norgestomet y $\text{PGF}_{2\alpha}$ más inseminación artificial a tiempo fijo de 16 h después de una segunda inyección de GnRH, las tasas de preñez no fueron diferentes a las de las vacas control que fueron inseminadas después de detectar el estro (Thompson *et al.*, 1997).

2.5.6 Combinación de progestágeno, prostaglandina y gonadotropina coriónica humana (hCG) en la sincronización de estros y ovulación

En un experimento conducido por Niasari-Nasalaji *et al.* (1996), el estado del ciclo estrual fue sincronizado en vaquillas con 2 inyecciones de $\text{PGF}_{2\alpha}$ y el día 6 del nuevo ciclo establecido a partir de la segunda inyección (día 0 del tratamiento), recibieron un implante de SMB el día 0 y $\text{PGF}_{2\alpha}$ el día 1. Esto produjo un incremento en la secreción pulsátil de LH y continuó el desarrollo del folículo dominante. El día 4, se aplicaron dosis de 500 a 3000 UI de hCG en diferentes grupos, lo cual indujo a la ovulación del folículo dominante. Esto fue seguido dentro de 48 h por la emergencia del folículo dominante nuevamente reclutado que ovuló después de retirar el implante de SMB y aplicar $\text{PGF}_{2\alpha}$, observándose que la dosis de 500 UI de hCG fue suficiente para ovular al folículo dominante en el día 4. Estos mismos investigadores en un experimento posterior, utilizando 500 UI de hCG en vacas Hereford y el mismo sistema de sincronización de estros, comparándolas con las que no recibieron hCG, observaron 61 y 23 % de gestaciones, respectivamente.

2.5.7 Progestágeno, prostaglandina y agonista de LH-RH en la sincronización de estros y ovulación

D'Ochio y Kinder (1995) sincronizaron vaquillas con cloprostenol, un análogo sintético de la $PGF_{2\alpha}$. El día 7 del nuevo ciclo sincronizado aplicaron los siguientes tratamientos alternativos: (1) una dosis luteolítica de cloprostenol el día 7 u 8, y un implante de norgestomet del día 7 al 17, (2) inyección de cloprostenol los días 7 u 8, y un implante de deslorelin (LH-RH) del día 7 al 17, (3) inyección de cloprostenol e implante de norgestomet y deslorelin, y (4) grupo control, sin tratamiento. Estos investigadores observaron que la combinación de progestágeno y un agonista de LH-RH no previnieron consistentemente el desarrollo de un folículo dominante persistente, por lo que el retorno al estro puede fallar.

2.5.8 Progestágeno, prostaglandina y PMSG en la sincronización de estros y ovulación

Fizpatrick y Finlay (1993), utilizaron vaquillas Brahman con CL o folículos > 8 mm de diámetro, las cuales fueron sincronizadas con norgestomet + inyección de norgestomet y valerato de estradiol. El implante fue removido 10 días después, aplicándose inmediatamente 400 UI de gonadotropina de suero de yegua preñada (PMSG)⁹ + $PGF_{2\alpha}$, inseminando artificialmente de las 42 a las 54 h posteriores, obteniéndose un 40 % de gestaciones, repitiéndose el mismo tratamiento al siguiente año. Se inseminó un grupo a las 48 h y el otro a las 48 y 60 h de retirado el implante, obteniéndose un 44 y un 57% de preñez, respectivamente. Cuando se sincronizó el estro en vaquillas *Bos indicus* usando norgestomet/estradiol y PMSG, y los estros fueron detectados cada 6 h se observó que los estros se manifestaron en un tiempo promedio de 47.1 ± 1.9 h, habiendo entrado en estro un 90 % para las 66 h de retirado el

⁹ PMSG, del inglés "Pregnant Mare Serum Gonadotropin" que se traduce como gonadotropina de suero de yegua preñada.

implante El porcentaje de preñez fue mayor cuando la IA se realizó después del estro, que cuando se inseminó a tiempo fijo (57.1 vs. 35.5, $P \leq .043$) (Cavalieri y Fitzpatrick, 1995).

Costa *et al.* (1993) trataron vacas y vaquillas con un implante con 3 mg de norgestomet y una inyección con 3 mg de norgestomet + 5 mg de valerato de estradiol. Al retirar el implante se formaron tres grupos: (1) no recibieron ningún tratamiento, (2) recibieron 400-500 UI de PMSG, y (3) recibieron 15 mg de $\text{PGF}_{2\alpha}$. La manifestación de estros en los 3 grupos de las 21 a 54 h después de remover el implante no tuvo diferencia significativa ($P > .05$) siendo de 56.7, 68.6 y 48.5%, respectivamente. De las vacas que presentaron estro, el 89.3% tuvo una función luteal normal y 71.4% concibieron a la inseminación vs. 36.6 y 22.0% en las hembras que no mostraron signos de estro. La tasa de concepción total en vacas con un cuerpo lúteo funcional fue de 50%, indicando que el desarrollo del cuerpo lúteo fue más importante para la preñez que los signos de estro.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo se realizó en el rancho "El Mirador" localizado al sureste de Linares, N.L., km 8, por la carretera Linares-Lucio Blanco a 24°50' latitud norte y 99°30' longitud oeste, a 480 m.s.n.m., con una temperatura media anual de 21°C y una precipitación media anual de 748 mm (DETENAL, 1990). El trabajo de investigación constó de dos experimentos. En el experimento I se evaluó el efecto de la condición corporal al parto, la presencia de toros y el destete temporal sobre la longitud del período de anestro postparto y la tasa de preñez al primer servicio, en un empadre de 60 días. En el experimento II se evaluó el efecto de diferentes tratamientos hormonales sobre la sincronización de estros y control de la ovulación en vacas Simmental abiertas después del período de empadre y su efecto sobre los índices de concepción al primer servicio y en un empadre de 60 días, considerando además, la condición corporal al momento de la sincronización y el inicio del empadre.

3.1 Experimento I. Efecto de la condición corporal, la bioestimulación y el destete temporal sobre la eficiencia reproductiva del ganado de carne en agostadero

3.1.1 Establecimiento del experimento

El experimento se estableció a partir del mes de febrero de 1996, para terminar el mes de agosto de 1997. Se utilizaron 80 vacas Simmental de 3 a 7 años, de un parto o más. Para condición corporal (CC) la escala utilizada fue de 1 a 9. Cuarenta vacas fueron de condición corporal alta (CCA), entre 6 y 7, y 40 de condición corporal baja (CCB), de 3 a 5. Esta evaluación se realizó al momento de iniciar el experimento para la formación de los grupos de CCA y CCB y posteriormente al llegar al parto. Como bioestimuladores del estro se utilizaron 3 toros Simmental con pene bloqueado, de 18 meses de edad, con un peso de 450 a 470 kg y

una condición corporal de 7 en la misma escala. También fue considerado el destete temporal por 72 h antes del inicio de la inseminación artificial con estros sincronizados.

3.1.2 Toros bioestimuladores

Los toros fueron operados quirúrgicamente del prepucio cuarenta y cinco días antes de iniciar el trabajo con las vacas, para que las heridas estuvieran completamente cicatrizadas. La cirugía consistió en dejar una fistula permanente a cada lado del prepucio para fijar el dispositivo bloqueador del pene (técnica inédita, Madrigal y Colín). Una semana antes de incorporar los toros con las vacas se colocó el dispositivo para que se fueran adaptando, equipándolos además con un arnés con marcador de quijada (Jaw-ball marking)¹⁰. El dispositivo se colocó dentro del prepucio para evitar que los toros desenvainaran el pene y copularan. Se retiraron los dispositivos al separar los toros de las vacas al iniciar la inseminación artificial. Se programó la sincronización de los estros y la inseminación de todas las vacas al iniciar el empadre, el cual tuvo una duración de 60 días. El marcador de quijada se colocó para que los toros marcaran a las vacas que entraran en celo, como un medio auxiliar a la observación visual realizada dos veces al día durante 1 hora (0600 a 0700 y 1800 a 1900 h) para la detección de estros. A todas las vacas de todos los tratamientos se les colocó un parche de grupa (K-mark)¹¹ para hacer más eficiente la detección de las vacas en estro, ya que cuatro de los tratamientos estuvieron aislados de los toros. Los parches de grupa se fueron colocando en las vacas conforme fueron pariendo, a los 15 días postparto.

3.1.3 Asignación de tratamientos

Una vez clasificadas las vacas por el grado de condición corporal alta o baja se les asignaron los tratamientos bajo un diseño completamente al azar, considerando un arreglo factorial de

¹⁰ Nasco Inc. Co., Madison, Wisconsin, USA.

¹¹ Nasco Inc. Co. Madison, Wisconsin, U.S.A.

2 X 2 X 2 con covarianza (edad de la vaca). El primer factor fue la condición corporal (CCA o CCB), como segundo factor se consideró la presencia o ausencia de toros con pene bloqueado (CT o ST), y, como tercer factor, con destete temporal o sin destete temporal (CD o SD).

Los tratamientos fueron los siguientes:

Tratamiento 1 (T1): Condición corporal alta, con toro, con destete
(CCA-CT-CD).

Tratamiento 2 (T2): Condición corporal alta, con toro, sin destete
(CCA-CT-SD).

Tratamiento 3 (T3): Condición corporal alta, sin toro, con destete
(CCA-ST-CD).

Tratamiento 4 (T4): Condición corporal alta, sin toro, sin destete
(CCA-ST-SD).

Tratamiento 5 (T5): Condición corporal baja, con toro, con destete
(CCB-CT-CD).

Tratamiento 6 (T6): Condición corporal baja, con toro, sin destete
(CCB-CT-SD).

Tratamiento 7 (T7): Condición corporal baja, sin toro, con destete
(CCB-ST-CD).

Tratamiento 8 (T8): Condición corporal baja, sin toro, sin destete
(CCB-ST-SD).

El modelo estadístico fue $Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + C_k + (AB)_{ij} + (AC)_{ik} + (BC)_{jk} + (ABC)_{ijk} + \delta X_{ijk} + \epsilon_{ijk}$

$i = 1, \dots, a$

$j = 1, \dots, b$

$k = 1, \dots, c$

En donde:

y_{ijk} es la observación de la variable dependiente en la ijk -ésima unidad experimental.

μ es la media verdadera general

A_i	es el efecto del nivel i del factor A (condición corporal)
B_j	es el efecto del nivel j del factor B (toro)
C_k	es el efecto del nivel k del factor C (destete)
$(AB)_{ij}$	es el efecto de la interacción del nivel i del factor A y el nivel j del factor B
$(AC)_{ik}$	es el efecto de la interacción del nivel i del factor A y el nivel k del factor C
$(BC)_{jk}$	es el efecto de la interacción del nivel j del factor B y el nivel k del factor C
$(ABC)_{ijk}$	es el efecto de la interacción entre el nivel i del factor A, el nivel j del factor B y el nivel k del factor C.
δ	es el coeficiente de regresión
X_{ijk}	es la observación de la covariable en la ijk -ésima unidad experimental
e_{ijk}	es el error experimental

3.1.4 Manejo del ganado

Las vacas fueron identificadas por su arete y tatuaje, anotándose en las hojas de registro su número individual. Para facilitar el manejo del ganado en los potreros, de un solo grupo formado por vacas preñadas, se formaron posteriormente dos grupos conforme las vacas fueron pariendo, de acuerdo al tratamiento correspondiente con presencia o ausencia de toro. Uno de los grupos estuvo formado por las vacas pertenecientes a los T1, T2, T5 y T6, que recibieron la bioestimulación de los toros. El grupo formado por las vacas pertenecientes a los tratamientos T3, T4, T7 y T8 no fueron bioestimuladas.

Las vacas asignadas a bioestimulación fueron pintadas de verde en el lomo, para que al momento de ser incorporadas al grupo de los toros no se dificultara su manejo. Las vacas que permanecieron aisladas de los toros fueron pintadas de azul en el lomo. Tanto las vacas

pintadas de verde como las pintadas de azul permanecieron en el grupo inicial hasta los 15 días postparto, asignándose a los grupos con toro o sin toro de acuerdo al color con el que se marcó el lomo. El color fue retocado cada dos semanas para evitar que se borrara y poder identificar más fácilmente si una vaca se pasaba de un grupo a otro. Las vacas permanecieron en el grupo de los toros desde los 15 días postparto hasta el momento de la inseminación artificial (IA). El parto de cada vaca fue registrado el día en que ocurrió, registrando también el sexo y peso de la cría.

Antes de iniciar el empadre, y a los 44 días del último parto, todas las vacas fueron sincronizadas con implantes auriculares subcutáneos conteniendo 6.0 mg de norgestomet + inyección intramuscular con de 3.0 mg de norgestomet y 5.0 mg de valerato de estradiol (SyncroMate-B)¹². Los implantes fueron retirados 9 días más tarde. La IA se efectuó de las 48 a 54 h del explante. Los becerros correspondientes a los T1, T3, T5 y T7 fueron separados de las vacas 24 h antes de retirar el implante y se incorporaron a sus madres inmediatamente después de la inseminación. A los 15 días de iniciado el empadre con la IA, se introdujeron sementales para que cubrieran a las vacas no preñadas al primer servicio y fueron mantenidos con las hembras por 45 días.

3.1.5 Condición corporal

La condición corporal preparto fue registrada al inicio del experimento para formar los grupos: condición corporal alta y condición corporal baja, como se mencionó anteriormente. Las siguientes evaluaciones se registraron para observar los posibles cambios en la condición corporal en las vacas a través del tiempo del estudio. La segunda evaluación se realizó cuando las vacas mostraban signos que manifestaban la proximidad del parto, aproximadamente de 10 a 15 días antes de que este se presentara. La tercera evaluación se hizo cuando se detectó el primer cuerpo lúteo por medio de la palpación de ovarios a través del recto. La cuarta evaluación se practicó cuando la vaca presentó su primer estro postparto. La quinta evaluación

¹² CEVA Mexicana, S.A. de C.V. México, D.F. Mex.

se registro el día que se inició el empadre con la IA. La última evaluación de condición corporal fue registrada el día que finalizó el periodo de empadre.

3.1.6 Peso corporal de las vacas

El peso corporal de las vacas fue registrado cuando se hizo la evaluación de la condición corporal en la proximidad del parto. El segundo registro de peso se realizó cuando las vacas presentaron su primer estro postparto. La tercera pesada se efectuó al momento de la IA. La última pesada fue hecha al finalizar el empadre al tiempo en que los toros sementales fueron retirados del hato. La pesada del ganado se realizó en una báscula ganadera¹¹ con jaula metálica, con capacidad para 1500 kg, y una sensibilidad de 1 kg. El peso corporal fue utilizado como un auxiliar en la determinación de la ganancia o pérdida en la condición corporal para cada animal en particular.

3.1.7 Manejo de becerros

Al nacimiento, los becerros fueron identificados por medio de tatuaje en la parte interna del pabellón de la oreja y un arete de plástico con el número de identificación de su madre. El sexo y el peso de los becerros fue registrado el día del nacimiento. Todos los becerros fueron pesados en el lugar del nacimiento con una báscula de resorte con capacidad para 50 kg, a excepción de un becerro que sobrepasó la capacidad de la báscula. El segundo registro de peso de los becerros se realizó el día en que se realizó el siguiente muestreo sanguíneo de la madre después de que entró en estro para evitar un manejo excesivo del ganado. El tercer registro de peso correspondió al inicio del programa de empadre con la inseminación artificial con estro sincronizado. El cuarto registro de peso se levantó el día en que se dio por concluido el empadre. El último registro de peso se realizó al destete.

¹¹ AMPESA. Monterrey, N.L., Mex.

3.1.8 Muestreo sanguíneo

El muestreo sanguíneo se llevó a cabo con la finalidad de determinar la concentración de progesterona y correlacionar estos valores con el desarrollo del primer cuerpo lúteo y la manifestación del primer estro postparto. Se eligieron al azar 3 vacas de cada tratamiento, equivalente al 30%, para hacer la colección de sangre, siendo en total 24 vacas las evaluadas en sus niveles de P₄. El muestreo sanguíneo se realizó cada semana a partir de los 15 días postparto, durante doce semanas en todas las vacas y hasta las 24 semanas en las vacas que parieron al inicio de la época de partos. Los tubos fueron identificados con el número de tratamiento, clave de identificación de la vaca y número de muestreo. Las muestras de sangre fueron colectadas de la vena yugular en tubos con vacío (vacutainer) con capacidad para 7 mL. Los tubos contenían ácido etildiaminotetracético (EDTA) como anticoagulante. Se utilizaron agujas de calibre 22 X 1.5" de largo, especiales para tubos vacutainer.

3.1.9 Preparación de muestras

Después de la colección de la sangre, los tubos fueron mantenidos a la temperatura ambiente durante media hora y después se colocaron en un recipiente con hielo para evitar alteraciones por efecto de la temperatura ambiente. La sangre fue conservada bajo estas condiciones hasta el momento de llegar al laboratorio para su centrifugación. La centrifugación se realizó a 1500 revoluciones por minuto durante 20 minutos. Una vez obtenido el plasma fue colocado en tubos de polipropileno para microcentrífuga con capacidad de 1.5 mL, con tapa de cierre hermético integrada¹². Posteriormente los tubos con etiqueta de identificación fueron colocados en bolsas de plástico de cierre hermético, identificadas con el número de muestreo y la fecha en que se hizo la colección y se almacenaron en un congelador a -20°C, donde permanecieron hasta su análisis.

¹² Clave T-6524, SIGMA ®. Chemical Company. P.O. Box 14508, St. Louis, Mo 63178 USA.

3.1.10 Análisis de las muestras

Las muestras de plasma fueron analizadas para la determinación de los niveles de progesterona por medio de la técnica de radioinmunoensayo (RIA), en el Laboratorio de Reproducción y Endocrinología de la New Mexico State University, en Las Cruces, New Mexico, U.S.A.

3.1.11 Palpación de ovarios

A partir de los 15 días postparto y una vez por semana se palparon los ovarios por vía rectal para detectar el inicio del desarrollo del primer cuerpo lúteo, indicativo del inicio de la actividad ovárica.

3.1.12 Detección de estros

Las vacas fueron observadas diariamente, por la mañana y por la tarde a partir de los 15 días de iniciada la época de pariciones hasta el final de la época de empadre para identificar y registrar las vacas con estro manifiesto. Como técnicas auxiliares en la detección de estros en uno de los grupos hubo 3 toros bloqueados del pene, equipados con marcador de quijada, colocando además en la grupa de las vacas un parche (K-mark) con dos espacios en su interior. El espacio más profundo está lleno de tinta y posee un orificio muy pequeño por el cual la tinta es derramada por una presión fuerte ejercida cuando el toro u otra vaca montan a la vaca que está en estro, pasando al segundo espacio que es más grande y apreciable desde una mayor distancia. En el grupo de vacas mantenidas sin toro, la única técnica auxiliar para la detección de estros fue el parche en la grupa.

3.1.13 Diagnóstico de gestación

A los 15 días después del servicio de inseminación artificial se introdujeron toros sementales para continuar el empadre hasta completar 60 días. A partir de la introducción de sementales, se registraron las vacas que fueron montadas. Las vacas que no recibieron servicio del semental fueron palpadas 45 días postinseminación por vía rectal para el diagnóstico de gestación al primer servicio, confirmando al mismo tiempo el diagnóstico por medio de ultrasonografía. A los 45 días de retirados los sementales, se realizó un diagnóstico de gestación en las vacas que fueron servidas por los sementales, bajo el mismo procedimiento. Las vacas gestantes al primer servicio fueron palpadas nuevamente por vía rectal a los 90 días para determinar si continuaban preñadas o se había presentado algún problema. A los 90 días de terminado el empadre, todas las vacas fueron palpadas por vía rectal, para reconfirmar y rectificar o ratificar el diagnóstico de gestación.

3.2 Experimento II. Efecto de la sincronización de estros y la ovulación sobre las tasas de gestación en ganado de carne en agostadero

3.2.1 Establecimiento del experimento

El trabajo de campo se inició en el mes de marzo de 1997 y se concluyó en el mes de febrero de 1998. Se utilizaron 70 vacas Simmental de 4 a 8 años de edad y una condición corporal de 5 a 7 en una escala de 1 a 9, al momento de iniciar el experimento. Todas las vacas tenían por lo menos 2 meses de haber sido destetadas.

3.2.2 Asignación de los tratamientos

Al momento del destete, se seleccionaron 70 vacas, diagnosticadas vacías por palpación rectal, las cuales fueron bloqueadas por edad y condición corporal, considerando formar cada grupo lo más homogéneo posible, tomando cada vaca como unidad experimental. El estudio se realizó bajo un diseño de bloques al azar, con 5 tratamientos y 14 repeticiones en cada uno ($n = 14$).

Los tratamientos fueron los siguientes.

Tratamiento 1 (T 1): día 0, inyección con prostaglandina $F_{2\alpha}$ ($PGF_{2\alpha}$);
día 11, inyección con $PGF_{2\alpha}$;
día 22, implante con progestágeno (SMB);
día 26, $PGF_{2\alpha}$ + gonadotropina coriónica humana
(hCG);
día 32, $PGF_{2\alpha}$;
día 33, retirada de SMB;
día 35, inseminación artificial (IA);
del día 50 al 95, monta natural.

Tratamiento 2 (T 2): día 11, $PGF_{2\alpha}$;
día 23, SMB;
día 32, $PGF_{2\alpha}$ + gonadotropina de suero de yegua
preñada (PMSG);
día 22, retirada de SMB;
día 24, IA;
del día 50 al 95, monta natural.

Tratamiento 3 (T 3): día 24, SMB;
día 32, PMSG;
día 22, retirada de SMB;
día 35, IA;
del día 50 al 95, monta natural.

Tratamiento 4 (T 4): día 22, SMB;
día 33, retirada de SMB;
día 35, IA;
del día 50 al 95, monta natural.

Tratamiento 5 (T 5): a partir del día 0, testigo, sin control de estros u
ovulación, con presencia de sementales,
hasta el día 95.

El modelo estadístico fue $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$

$$i = 1, \dots, t$$

$$j = 1, \dots, r$$

donde:

Y_{ij} es la observación del tratamiento i en el bloque j .

μ es el efecto verdadero de la media general.

τ_i es el efecto del i – ésimo tratamiento.

β_j es el efecto del j – ésimo bloque.

ε_{ij} es el error experimental.

3.2.3 Protocolo de tratamientos

En el Cuadro A25 se presenta la calendarización de las actividades consideradas en el experimento II. El día 0 fue considerado el día de inicio del experimento. Las vacas pertenecientes al T1, el día 0 fueron inyectadas en la pared vaginal (IPV) con 12.5 mg de dinoprost trometamina ($PGF_{2\alpha}$), que es un análogo sintético de prostaglandina $F_{2\alpha}$ ¹³. El día 11 se repitió la inyección con $PGF_{2\alpha}$ para sincronizar los estros y la ovulación. El día 22, se aplicó un implante subcutáneo auricular (SMB) con 6 mg de norgestomet (Ngt) + inyección intramuscular (IM) con 3 mg de Ngt y 5 mg de valerato de estradiol (VE). El día 26, se aplicaron 12.5 mg de $PGF_{2\alpha}$ por vía IPV y 500 UI de gonadotropina coriónica humana (hCG)¹⁴ por vía IM. El día 32, se inyectaron 12.5 mg de $PGF_{2\alpha}$ por vía IPV. Para el T2) el día 11, se inyectaron 12.5 mg de $PGF_{2\alpha}$ por vía IPV. El día 23, se implantó subcutáneamente en la oreja el SMB con 6 mg de Ngt + 3 mg de Ngt y 5 mg de VE por vía IM. El día 32, se inyectaron 12.5 mg de $PGF_{2\alpha}$ IPV + 400 UI de gonadotropina de suero de yegua preñada (PMSG)¹⁵ por vía IM. Para el T3) el día 24, fue aplicado el implante subcutáneo auricular de SMB con 6 mg

¹³ Lutalyse. UPJOHN. S.A. de C.V., México.

¹⁴ Chorulón. Intervet México. S.A. de C.V.

¹⁵ Folligón. Intervet de México. S.A. de C.V.

de Ngt + 3 mg de Ngt y 5 mg de VE por vía IM. El día 32, se inyectaron 500 UI de PMSG por vía IM. Para el T4) el día 24, fue aplicado el implante subcutáneo auricular de SMB con 6 mg de Ngt + 3 mg de Ngt y 5 mg de VE por vía IM. En los tratamientos del 1 al 4, a partir del día 33 del inicio del experimento, se siguió la metodología que se menciona a continuación. El día 33, fue retirado el implante de SMB. El día 35, se realizó la IA, de 48 a 54 h después de retirado el SMB. El día 50, fueron introducidos los sementales para cubrir las vacas que presentaran estro después del servicio de IA. El día 95, se retiraron los sementales y se dio por terminado el empadre. El T5), grupo testigo, no recibió tratamientos hormonales para el control de estros u ovulación, manteniendo un semental dentro del grupo desde el día 0 y permaneció dentro de este durante 95 días. Las variables medidas fueron: niveles de progesterona en suero sanguíneo en las diferentes etapas de la manipulación hormonal, manifestación de estros después del explante, periodo del explante al inicio del estro, manifestación de estros después del primer servicio, porcentaje de concepciones al primer servicio por IA y el acumulado hasta el final del empadre (Cuadro A1 del apéndice).

3.2.4 Manejo del ganado

Las vacas fueron identificadas por su arete de plástico y su tatuaje permanente individual. Después de la asignación de los tratamientos, se formaron dos hatos únicamente. Las vacas de los tratamientos 1, 2, 3 y 4, se mantuvieron formando un solo hato para facilitar el manejo del pastoreo y la movilización hacia los corrales para los muestreos, la aplicación de hormonas, la detección de estros y la inseminación artificial (IA). La IA se consideró como el inicio de la época de empadre en los T1, T2, T3 y T4. Las vacas del T5 se mantuvieron aisladas de los otros tratamientos, incorporándose un toro semental desde el inicio del experimento (día 0), para que las sirviera al momento del celo. La duración del empadre para los animales con tratamientos hormonales (T1, T2, T3 y T4) fue de 60 días, mientras que para los animales testigo (T5) fue de 95 días.

3.2.5 Muestreo sanguíneo

Se colectaron muestras de sangre de la vena yugular, en todas las vacas, utilizando tubos al vacío (vacutainer) de 7 mL de capacidad, usando agujas de 22 X 1.5". Los tubos fueron identificados con el número de tratamiento, clave de identificación de la vaca y número de muestreo. La primera muestra se tomó el día 11 en todos los tratamientos, para detectar los niveles de progesterona. Ese mismo día se aplicaron prostaglandinas en los T1 y T2. La segunda muestra de sangre se tomó el día 17 en los T1, T2, T3, T4 y T5, y la tercera, el día 22 en los tratamientos T1 y T5, aplicándose inmediatamente después un implante con progestágeno. En el T2 se tomó la tercera muestra el día 23, implantando inmediatamente después con progestágeno; y, en los T3 y T4, la muestra se obtuvo el día 24 y se implantó con progestágeno inmediatamente después. El cuarto muestreo sanguíneo se tomó el día 26 en todos los tratamientos. El día 26 se aplicaron prostaglandina y hCG en el T1. El quinto muestreo se realizó el día 32 en todos los tratamientos. Ese mismo día, las vacas del T1 recibieron una inyección de prostaglandina; las del T2 recibieron prostaglandina + PMSG; y las del T3, PMSG. El día 33 se retiraron los implantes de progestágeno de todos los tratamientos y el día 35 se tomó el sexto muestreo sanguíneo en todos los tratamientos.

Las muestras fueron preparadas para el traslado al laboratorio, centrifugación y congelamiento hasta su análisis con el mismo procedimiento con que fueron preparadas las muestras del experimento I, y fueron analizadas en el mismo laboratorio, mediante la misma técnica.

3.2.6 Detección de estros

Después de 12 horas de retirados los implantes de SMB, las vacas fueron observadas en el corral, desde las 1800 h del día 33 hasta las 0600 del día 34, para detectar con ayuda de toros receladores con pene bloqueado las que entraran en estro y registrarlas. De las 0600 a las 1800 h del día 34, fueron mantenidas en una pradera para detectar más fácilmente las vacas en estro. De las 1800 h del día 34 a las 0600 h del día 35, las vacas fueron mantenidas nuevamente en el corral para facilitar la detección de calores durante la noche. A partir de las 0600 h del día 35 se

procedió a inseminar, dando el servicio en el orden en que fueron entrando en estro, dejando para el final aquellas que no presentaron estro dentro de las primeras 48 horas de retirados los implantes. La detección de estros continuó hasta las 96 horas de retirados los implantes. Las vacas que presentaron estro después de las 48 horas fueron inseminadas nuevamente 12 horas después del celo. Cuatro sementales fueron introducidos con las vacas a partir de los 15 días después de la inseminación (día 50), con la finalidad de que cubrieran aquellas vacas que retornaran al estro, y fueron retirados 45 días más tarde (día 95). Los toros para la monta fueron equipados con marcador de quijada para facilitar la identificación de las vacas servidas y registrarlas. El ganado fue observado diariamente por la mañana y por la tarde durante el tiempo que duró el empadre libre.

3.2.7 Diagnóstico de gestación

Las vacas que recibieron servicio de IA y no retornaron al estro en los 45 días sucesivos, fueron palpadas por vía rectal para diagnosticar gestación al primer servicio, confirmando el diagnóstico por medio de ultrasonografía. El mismo día se realizó el diagnóstico en las vacas testigo, para determinar la tasa de preñez hasta ese momento. La metodología que se siguió posteriormente para la detección de preñez al final del empadre y la detección de posibles problemas, fue la misma que para el experimento I.

3.2.8 Análisis estadísticos

Las concentraciones de P_4 en el experimento I, fueron evaluadas por análisis de covarianza. Se determinó el efecto de los factores principales y la interacción de factores sobre los niveles hormonales. Para las concentraciones de P_4 únicamente se consideraron los factores condición corporal (CC) y toro (T). El factor destete (D) no se consideró en esta etapa porque se realizó después de terminado el muestreo sanguíneo. Se consideró como covariable la edad de la vaca (EV). Se correlacionaron las concentraciones semanales de P_4 con días del parto al cuerpo lúteo (DPCL), condición corporal al parto (CCP), bioestimulación con toros (T), condición corporal al cuerpo lúteo (CCCL), edad de la vaca (EV), ganancia diaria de peso del becerro

(GDPB) y peso del becerro al estro (PBE). Se calculó la desviación estándar y el error estándar de la media, así como el coeficiente de determinación (R^2) (SPSS, 1996). Las medias fueron comparadas por diferencia mínima significativa (DMS) (Olivares, 1994). Para evaluar la respuesta a la tasa de gestación fue considerado también el destete temporal. En el experimento II, la concentración de P_4 y las horas al estro fueron evaluadas por medio de análisis de varianza. La manifestación de estros y tasa de gestación fueron evaluadas por medio de Prueba de X^2 .

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Experimento IA. Efecto de la condición corporal y la bioestimulación sobre la concentración de progesterona y eventos reproductivos en ganado de carne en agostadero

4.1.1 Niveles de progesterona en el período postparto, a 24 vacas (30% de cada T)

4.1.1.1 Concentración de progesterona por efecto de la condición corporal

La condición corporal al parto para las vacas de condición corporal alta (CCA) fue de $6.5 \pm .52$ y para las vacas de condición corporal baja (CCB) fue de $4.21 \pm .40$.

La concentración de progesterona (P_4) en el suero sanguíneo no presentó diferencia significativa ($P > .05$) por efecto del factor condición corporal, de la semana 3 a la 6 postparto. A partir de la semana 7, la concentración de P_4 en el suero se incrementó en las vacas con CCA por arriba de 1.0 ng/mL, presentando diferencia significativa ($P < .01$) con la concentración observada en las vacas con CCB. La concentración de P_4 fue de 1.35 ± 1.78 y $.13 \pm .06$ en la semana 7, 1.21 ± 1.40 y $.13 \pm .05$ en la semana 8, 1.93 ± 1.51 y $.13 \pm .06$ en la semana 9 y 2.85 ± 1.42 y $.12 \pm .04$ en la semana 10, respectivamente para las vacas con CCA y CCB. En la semana 11, la diferencia en la concentración de P_4 entre grupos se redujo ($P < .05$), debido a que 3 de las vacas con CCB incrementaron su nivel de P_4 por arriba de 1.0 ng/mL, aunque el promedio del grupo continuó por abajo de ese nivel. La concentración de P_4 en la semana 11 fue de 1.95 ± 1.95 y $.80 \pm 1.31$, respectivamente para CCA y CCB. En la semana 12 no hubo diferencia ($P > .05$) en la concentración de P_4 (Cuadro 1) entre los grupos de CCA y CCB, resultando 1.29 ± 1.72 y $.78 \pm 1.36$, respectivamente. Ocho de las 12 vacas con CCA manifestaron estro de 4 días antes a 3 días después del muestreo, disminuyendo el nivel promedio de P_4 de este grupo. Considerando casos individuales se

Cuadro 1.- Efecto de la condición corporal sobre la concentración de progesterona (ng/mL).

Factor	Semanas postparto				
	3	4	5	6	7
CCA (\bar{X} y D.E.)	.15 ± .08	.16 ± .07	.15 ± .07	1.13 ± 1.86	1.35 ± 1.78***
CCB (\bar{X} y D.E.)	.13 ± .07	.17 ± .10	.16 ± .08	.15 ± .09	.13 ± .06 ^b
R ²	.21	.24	.13	.31	.56

Continuación Cuadro 1.

Factor	Semanas postparto				
	8	9	10	11	12
CCA (\bar{X} y D.E.)	1.21 ± 1.40***	1.93 ± 1.51**	2.85 ± 1.42***	1.95 ± 1.95**	1.29 ± 1.72
CCB (\bar{X} y D.E.)	.13 ± .05 ^b	.13 ± .06 ^b	.12 ± .04 ^b	.80 ± 1.31 ^b	.78 ± 1.36
R ²	.58	.67	.75	.60	.22

**P<.01

* P<.05

CCA= condición corporal alta (n= 12)

CCB= condición corporal baja (n= 12)

\bar{X} = media muestral

D.E.= desviación estándar

R² = coeficiente de determinación

^{a, b} Diferentes superíndices dentro de columna indican diferencia estadística.

observó que vacas con CCA presentaron niveles de P₄ > 1.0 ng/mL cinco semanas antes que las vacas con CCB.

El porcentaje acumulado de vacas con concentración de P₄ > 1.0 ng/mL a partir de la sexta semana postparto, se muestra en la Figura 1. Los porcentajes de vacas con CCA con más de 1.0 ng/mL de P₄ fueron de 25, 42, 67, 92 y 100%, correspondientes a las semanas 6, 7, 8, 9 y 10, mientras las vacas con CCB se mantuvieron en un nivel basal de P₄ hasta la semana 10. En la semana 11, 17% de las vacas con CCB mostraron niveles de P₄ arriba de 1.0 ng/mL, y para la semana 12, 33% de las vacas rebasaron ese límite.

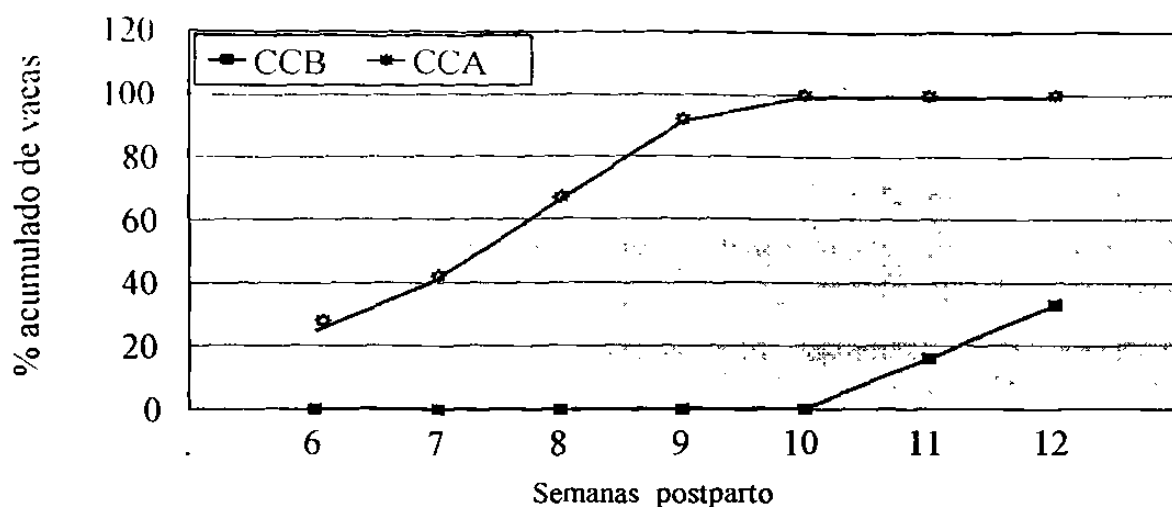


Figura 1.- Efecto de la condición corporal en vacas en la concentración de progesterona >1.0 ng/mL.

En el apéndice Cuadro A1, se muestra el número y porcentaje acumulado de vacas que presentaron concentración de P_4 arriba de 1.0 ng/mL de la semana 3 a la 12 postparto. En la semana 6, el número de vacas con CCA que presentaron nivel de $P_4 > 1.0$ ng/mL no fue diferente estadísticamente ($P > .05$) al del grupo con CCB. A partir de la semana 7, la condición corporal tuvo un efecto muy significativo ($P < .01$) sobre el número acumulado de vacas que produjeron concentraciones de $P_4 > 1.0$ ng/mL. Se observó que las vacas de CCA iniciaron su actividad cíclica a partir de la semana 6. Para la semana 10, las 12 vacas del grupo con CCA (100%) rebasaron el nivel de concentración de $P_4 > 1.0$ ng/mL, mientras que algunas vacas con CCB empezaron a ciclar a partir de la semana 11 (2 vacas de 12, 17%) y para la semana 12 el número acumulado fue de 4 vacas de 12 (33%). Estos resultados indican que vacas con buena condición corporal tienen un período de anestro más corto que vacas con baja condición corporal al parto. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Houghton *et al.* (1990), quienes observaron que las vacas con una condición corporal < 3 , en escala de 1 a 5, presentaron un intervalo de anestro postparto de 28 a 58 días más largo que el de las vacas con una condición corporal ≥ 3 . Buskirk *et al.* (1992) mencionan que las vacas con $CCB \leq 2.5$, en escala de 1 a 5, tuvieron menor porcentaje de ciclicidad (50 vs. 100%) para el final de la época de empadre, que las vacas con condición corporal ≥ 3 . Entwistle (1983) considera que los mecanismos nutricionales que controlan la actividad ovárica pueden ejercer su efecto sobre el

hipotálamo, la glándula pituitaria o el ovario y las vacas subalimentadas pueden permanecer acíclicas. Estas observaciones concuerdan con las obtenidas por Rasby *et al.* (1986) quienes mencionan que el estado nutricional de la vaca en el postparto altera la liberación de LH después de un cambio de GnRH. La LH es la principal hormona que regula el cuerpo lúteo, y lo estimula a la producción de progesterona (Wiltbank, 1994).

4.1.1.2 Concentración de progesterona por efecto de la bioestimulación

La condición corporal al parto (CCP) fue similar ($P > .05$) en las vacas que recibieron la bioestimulación con toros (CT), como en las que no la recibieron (ST). La CCP fue de 5.38 ± 1.17 y 5.33 ± 1.39 respectivamente para las vacas CT y ST. La concentración de P_4 en el suero sanguíneo de la semana 3 a la 6 postparto no fue diferente ($P > .05$) en las vacas que recibieron la bioestimulación (CT) con respecto a las vacas que no la recibieron (ST). En la sexta semana, 3 vacas CT presentaron concentración de $P_4 \geq 3.7$ ng/mL. Sin embargo, no hubo diferencia estadística ($P > .05$) en la concentración media de P_4 (1.16 ± 1.84 vs. $.12 \pm .04$ ng/mL, respectivamente, para los grupos CT y ST. (Cuadro 2).

Las vacas CT tuvieron concentración de P_4 mas elevada que las vacas ST ($P < .01$) en la semana 7 (Figura 2). Los niveles de P_4 en esta semana fueron de 1.36 ± 1.77 y $.12 \pm .04$ ng/mL, respectivamente. Cuatro vacas CT (33%) presentaron concentración de $P_4 \geq 3.5$ ng/mL, mientras que ninguna de las vacas ST tuvo niveles mayores a 1.0 ng/mL (Cuadro A2). De la semana 8 a la 11 no hubo diferencia ($P > .05$) en la producción de P_4 entre grupos. Sin embargo, la concentración media de P_4 en el grupo ST se incrementó a más de 1.0 ng/mL hasta la semana 10. En la semana 12, las vacas CT tuvieron mayor concentración de P_4 ($P < .05$) que las vacas ST. El nivel de P_4 fue de 1.69 ± 1.81 y $.38 \pm .86$ ng/mL, respectivamente. Para la doceava semana, 10 de 12 vacas CT (83%) presentaron más de 1.0 ng de P_4 /mL, en tanto que únicamente 6 de 12 vacas ST (50%) sobrepasaron ese nivel (Cuadro A2).

En el Cuadro A1 se muestra el número y el porcentaje acumulado de vacas que produjeron niveles de P_4 mayores a 1.0 ng/mL en el suero sanguíneo. Las vacas que recibieron la

Cuadro 2.- Efecto de la bioestimulación en la concentración de progesterona (ng/mL) en vacas.

Factor		Semanas postparto				
		3	4	5	6	7
CT	(\bar{X} y D.E.)	.14 ± .08	.20 ± .10	.18 ± .09	1.16 ± 1.84	1.36 ± 1.77 ^{***}
ST	(\bar{X} y D.E.)	.14 ± .07	.13 ± .07	.13 ± .07	.12 ± .04	.12 ± .04 ^b
	R ²	.30	.23	.13	.35	.78

Continuación de Cuadro 2.

Factor		Semanas postparto				
		8	9	10	11	12
CT	(\bar{X} y D.E.)	.73 ± 1.22	1.18 ± 1.61	1.37 ± 1.59	1.74 ± 1.79	1.69 ± 1.81 ^{**}
ST	(\bar{X} y D.E.)	.60 ± 1.06	.88 ± 1.19	1.60 ± 1.88	1.04 ± 1.67	.38 ± .86 ^b
	R ²	.62	.51	.66	.51	.32

****P** < .01

***** P < .05

CT= con estímulo del toro, n= 12

ST= sin estímulo del toro, n= 12

\bar{X} = media muestral

D.E.= desviación estandar

R² = coeficiente de determinación

^{a,b} Diferentes superíndices dentro de columna indican diferencia estadística.

bioestimulación con toro presentaron niveles de P₄ superiores a 1.0 ng/mL de suero sanguíneo desde 2 semanas antes que las vacas sin bioestimulación. El nivel de P₄ por arriba de 1.0 ng/mL inició a partir de la semana 6 en vacas CT, permaneciendo constante de ahí en adelante, a excepción de la semana 8 (.73 ± 1.22 ng/mL), mientras que en las vacas ST se elevó por arriba de 1.0 ng/mL a partir de la semana 10 (1.60 ± 1.88 ng/mL). Como la concentración de P₄ en vacas ciclando dependió del momento del ciclo en que se tomó la muestra de sangre, se consideró el número acumulado de vacas que fue sobrepasando el nivel de 1.0 ng/mL. Nezhdanov y Solov'ev (1984) observaron que la concentración de progesterona

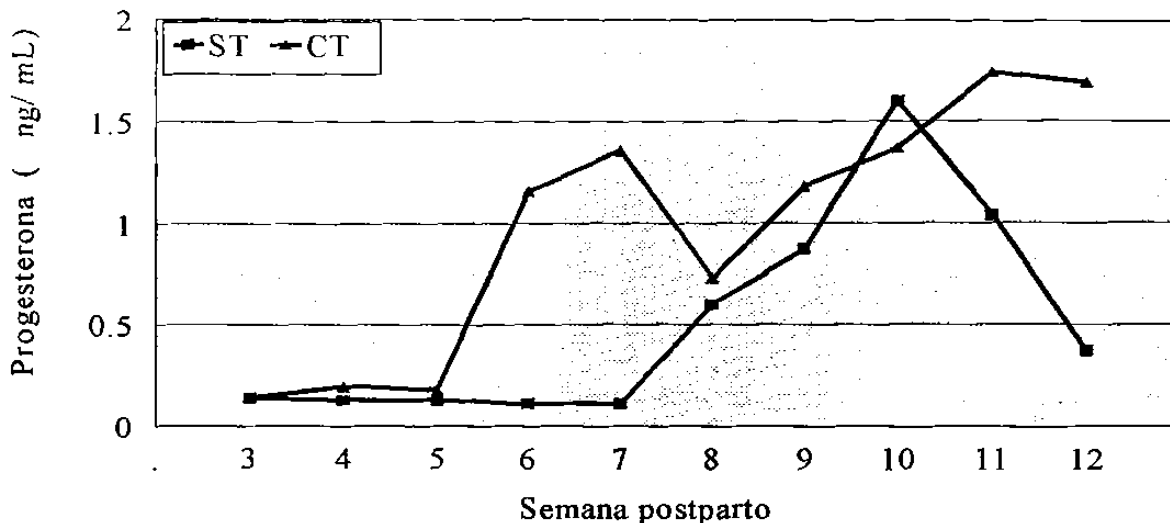


Figura 2.- Efecto de la bioestimulación, en la concentración de progesterona en vacas.

promedió .6 ng/mL el día 3 del ciclo, 3.88 ng/mL el día 7, 2.77 ng/mL el día 14, 1.6 ng/mL 3 días antes del inicio del estro y .36 ng/mL al estro.

El número de vacas ciclando y sin ciclar, acumulado por semana fue evaluado con tablas de contingencia de X^2 para pruebas de independencia. Se observó que la bioestimulación con toro no tuvo mucho efecto ($P > .05$) sobre el inicio de la actividad cíclica de las vacas, pero hay que considerar que el número de repeticiones apenas sobrepasó el límite mínimo para este tipo de análisis. En el Cuadro A1 se muestra que únicamente en la semana 7 el número acumulado de vacas CT fue estadísticamente superior al de las vacas ST. En la Figura 3 se presenta el porcentaje acumulado de vacas CT que tuvieron concentración de $P_4 > 1.0$ ng/mL, el cual fue de 25, 42, 50, 50, 50, 67 y 83%, respectivamente, para las semanas 6 a 12 postparto, y de 0, 0, 17, 42, 50, 50 y 50%, respectivamente, para las semanas 6 a 12 en las vacas ST.

Hornbuckle *et al.* (1995) evaluaron el efecto de la presencia de toros en el período postparto sobre la actividad cíclica de las vacas, considerando que una concentración de $P_4 > 1$ ng/mL era indicativo de la actividad cíclica, concluyeron que para los 76 días postparto cicló el 91% de las vacas mantenidas con toro y 83% de las vacas sin toro ($P < .05$). Estos mismos

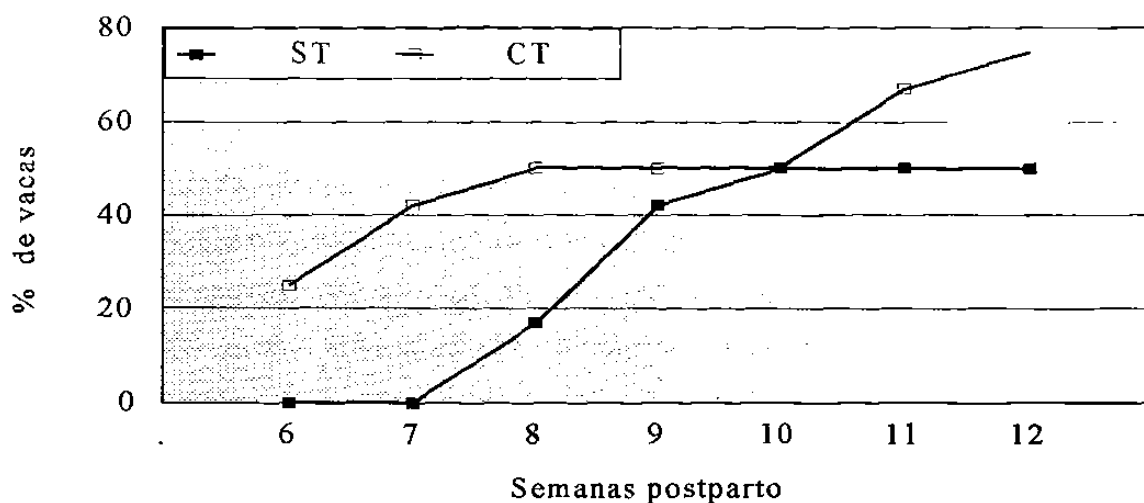


Figura 3.- Efecto de la bioestimulación en el acumulado de vacas con concentración de progesterona > 1.0 ng/mL.

investigadores también analizaron la concentración de P_4 de los 3 a los 46 días postparto, observando que a los 46 días postparto, las concentraciones de P_4 fueron más altas ($P < .01$) en vacas expuestas a toros que las que se mantuvieron alejadas de estos. Alberio *et al.* (1987) también expusieron vacas a la bioestimulación con toros, hasta los 58 días postparto, observando que el 67.9% de las vacas manifestaron estro vs. 32.7% en vacas no expuestas a toros ($P < .01$); y tuvieron 73.6% de ovulaciones vs. 40.4% ($P < .01$); y, 28.2% de estros silenciosos vs. 42.9% ($P < .01$), respectivamente. Por consiguiente, el contacto de las vacas con los toros en el postparto produjo estimulación de la actividad ovárica y una incrementada incidencia de estros.

Burns y Spitzer (1992) encontraron que vacas bioestimuladas en el postparto retornaron al estro antes que las vacas que no fueron bioestimuladas. Zalesky *et al.* (1984) observaron que el 86% de las vacas bioestimuladas presentaron estro a los 53 días postparto, mientras que las no bioestimuladas solamente presentaron estro el 23%.

4.1.1.3 Concentración de progesterona por efecto de la interacción condición corporal-bioestimulación con toro (P₄, CC·T)

A la tercera semana postparto no se observó diferencia en la concentración de P₄ por efecto de la condición corporal alta (CCA) o baja (CCB), siendo de $.15 \pm .08$ y $.13 \pm .06$ ng/mL ($P < .05$), respectivamente (Cuadro 3). En este análisis no se consideró el efecto de la bioestimulación, porque la toma de la muestra fue previa a la incorporación con los toros. En la Figura 4 se muestra la concentración de progesterona de la semana 3 a la 12 postparto por efecto de CCA-CT, CCA-ST, CCB-CT y CCB-ST. En las semanas 4 y 5 postparto no hubo diferencia significativa ($P > .05$) en la concentración de P₄ por efecto de los factores condición corporal al parto (CC) y toro (T), ni en la interacción CC·T. En el Cuadro 3, se presentan las concentraciones medias de P₄, desviación estándar (D.E.) y error estándar de la media (E.E.M.) de los grupos CCA-CT, CCA-ST, CCB-CT y CCB-ST, de la semana 3 a la 12 postparto. En la sexta semana postparto, las concentraciones de P₄ fueron estadísticamente diferentes ($P < .05$, $R^2 = .37$, Cuadro A4) por efecto de la interacción CC·T, observándose mayor concentración de P₄ en vacas del grupo de CCA-CT. Los niveles de P₄ fueron de 2.15 ± 2.25 , $.10 \pm .00$, $.17 \pm .12$ y $.13 \pm .05$ ng/mL de suero, para CCA-CT, CCA-ST, CCB-CT y CCB-ST, respectivamente (Cuadro 3, Figura 5).

Por los niveles de P₄ observados en las vacas del grupo de CCA-CT, se consideró que empezaron su actividad cíclica entre la quinta y sexta semana postparto. Tegegne *et al.* (1993), Dembinski y Bronicki (1994) y Hornbuckle *et al.* (1995) mencionan que la concentración de P₄ > 1.0 ng/mL de suero en el postparto, es considerada como un indicativo del inicio de la actividad cíclica de la vaca. Stevenson y Britt (1979) observaron que la P₄ en el suero fue < .2 ng/mL desde el parto hasta 2 ó 3 d después de la primera ovulación, cuando se incrementó ($P < .05$) a más de 1.0 ng/mL al formarse el primer cuerpo lúteo postparto. Estos mismos investigadores indican que el primer incremento en la P₄ precedió al primer estro observado en el 67% de las vacas. Sin embargo, en este trabajo, el aumento en la concentración de P₄ en el suero, fue aparentemente debido a la ovulación, porque fue palpado un cuerpo lúteo en todas las vacas que presentaron niveles > 1.0 ng/mL.