



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA**

**POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**DINÁMICA FOLICULAR, DETECCIÓN DE ESTROS  
Y COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO  
EN GANADO LECHERO**



DIRECCION ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROCT. CALIF.

**TESIS**

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
PRESENTA:**

**J. MELQUIADES MONZÓN ARMENTA**

Chapingo, Estado de México. Julio de 2001.



**DINÁMICA FOLICULAR, DETECCIÓN DE ESTROS  
Y COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO EN GANADO LECHERO**

Tesis realizada por **José Melquiades Monzón Armenta**, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

DIRECTOR: Raymundo Rangel S.  
Raymundo Rangel Santos, PhD.

ASESOR: Carlos A. Apodaca Sarabia  
Carlos A. Apodaca Sarabia, M. C.

ASESOR: Carlos Sánchez Del Real  
Carlos Sánchez Del Real, M. C.

**DINÁMICA FOLICULAR, DETECCIÓN DE ESTROS  
Y COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO EN GANADO LECHERO**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **José Melquiades Monzón Armenta**, autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Producción Animal estuvo constituido por:

PRESIDENTE:   
Raymundo Rangel Santos, PhD.

ASESOR:   
Carlos A. Apodaca Sarabia, M. C.

ASESOR:   
Carlos Sánchez Del Real, M. C.



## AGRADECIMIENTOS

Doy gracias al que me fortaleció, a Cristo Jesús nuestro Señor,  
porque me tuvo por fiel, poniéndome en el ministerio.

1<sup>ra</sup> a Timoteo 1. 12.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT),  
por el apoyo brindado para que esta investigación pudiera llevarse a cabo.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Zootecnia,  
porque al seno de ellos he forjado una profesión.

Al Dr. Raymundo Rangel Santos,  
por la dirección y definición precisa del tema de esta investigación.

Al M. C. Carlos A. Apodaca Sarabia,  
por sus siempre atinadas sugerencias en la metodología  
y análisis de esta investigación.

Al M. C. Carlos Sánchez Del Real,  
por sus valiosas sugerencias en el formato de la versión final de este trabajo.

## DEDICATORIA

A mi Esposa ROSARIO, porque hombro con hombro,  
hemos superado todo tipo de dificultades.

A mis Hijos, José Juan y Gloria Isabel... ellos son, sin duda,  
el motivo más grande de todos mis esfuerzos.

A mis Padres, esos viejos, a los que ahora entiendo,  
cuando veo a mis Hijos.

A mis Hermanos, Sobrinos, Tíos y a toda mi familia,  
porque son tantos, que se que no estoy solo.



## DATOS BIOGRÁFICOS

### JOSÉ MELQUIADES MONZÓN ARMENTA

|                     |                    |
|---------------------|--------------------|
| FECHA DE NACIMIENTO | 30 de Mayo de 1958 |
| LUGAR DE NACIMIENTO | PURUÁNDIRO, MICH.  |
| ESTADO CIVIL        | CASADO             |
| CURP                | MOAM580530HMNNRL02 |

## ESTUDIOS REALIZADOS

|           |                                                                                                                   |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1964-1970 | Primaria. Escuela Primaria José Ma. Morelos y Pavón. Puruándiro, Mich.                                            |
| 1970-1973 | Secundaria. Escuela Secundaria Federal Dámaso Cárdenas. Puruándiro, Mich.                                         |
| 1973-1976 | Comercial. Contador Privado. Instituto PAL. Puruándiro, Mich.                                                     |
| 1977-1978 | Técnica. Escuela Técnica Agropecuaria No. 496. Cerano. Yuriria, Gto.                                              |
| 1978-1981 | Preparatoria. Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx.                                |
| 1981-1985 | Profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx.                             |
| 1998-2001 | Posgrado. Maestría en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. |

## EXPERIENCIA PROFESIONAL

|                 |                                                                                                             |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1984-1985       | Ayudante de investigador. Módulo de Bovinos para Carne. Granja Experimental. Universidad Autónoma Chapingo. |
| 1985-1989       | Técnico Pecuario. Proyecto "Angus-Pardo Suizo. Responsable: Assefaw Tewolde M. PhD.                         |
| 1989-1989       | Analista Especializado. Sociedad Cooperativa de Producción Agropecuaria. Chapingo, Méx.                     |
| 1989-1990       | Gerente Técnico. Sociedad Cooperativa de Producción Agropecuaria. Chapingo, Méx.                            |
| 1992 a la fecha | Profesor del Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx.                       |
| 2001            | Jefe de Módulo. Bovinos para Carne. Granja Experimental. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx.      |

## **DINÁMICA FOLICULAR, DETECCIÓN DE ESTROS Y COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO EN GANADO LECHERO**

Monzón, AJM; Rangel, SR; Apodaca, SCA; Sánchez, DRC

### **RESUMEN**

La baja fertilidad del ganado se atribuye a la dinámica folicular durante el balance energético negativo al inicio de la lactancia. Se evaluó la dinámica folicular para determinar los efectos de número de parto, época de parición, producción de leche y condición corporal utilizando 27 vacas primíparas y 34 multíparas, con 30 partos en invierno y 31 en primavera de 1999; se evaluó también el efecto de un programa de detección de estros sobre la fertilidad del ganado comparando el periodo 1 (n=270) con el periodo 2 (n=300). La dinámica folicular se llevó a cabo cada 3 días con un equipo de ultrasonografía (Sonoace 600®, Medison) y un transductor rectal de 7.5 MHz; y la detección de estros, con 3 celadores en turnos de 8 h. La dinámica folicular se analizó mediante GLM de SAS y " $\chi^2$ "; la mejor variable de predicción se determinó por el método stepwise; y las diferencias entre servicios ofrecidos y partos registrados se probaron con el estadístico "z". Los días al primer estro posparto,  $38.3 \pm 20.2$  vs  $52.9 \pm 30.4$  días, fueron diferentes ( $p < 0.05$ ) en vacas de 1 y de 2 o más partos, respectivamente; los siguientes estros ocurrieron cada  $22.1 \pm 3.8$  días, en ciclos de 2 (51.5 %) y 3 (48.5 %) ondas foliculares; el diámetro del folículo ovulatorio fue de 15.7 mm, con 85 % de ovulación al primer estro; el primer servicio ocurrió a los  $84.1 \pm 32.5$  días; las diferencias entre periodos ( $p < 0.01$ ) en servicios ofrecidos (36.4 %) y partos registrados (51.3 %) se atribuyen a la detección de estros y al servicio oportuno de inseminación. Se concluye que, la dinámica folicular después del primer estro, es similar en todas las vacas; y que la eficiencia y precisión en la detección de calores mejora el comportamiento reproductivo del ganado.

Palabras clave: Dinámica folicular, Estro, Inseminación, Eficiencia reproductiva, Vacas.



## ABSTRACT

José Melquiades Monzón Armenta

### FOLLICULAR DYNAMICS, OESTRUS DETECTION AND REPRODUCTIVE BEHAVIOR IN DAIRY CATTLE

Low fertility in cattle is attributed to follicular dynamics during negative energy balance in early lactation. Follicular dynamics were evaluated to determine the effects of parity, birth period, milk yield and body condition, using 27 dairy cows of first lactation and 34 of multiple lactation. 30 births were registered in winter and 31 in the spring of 1999. A program of the detection of oestrus in cattle was evaluated, comparing period 1 (n=270) with period 2 (n=300). Follicular dynamics were examined every 3 days by transrectal ultrasonography (Sonoace 600®, Medison) and 7.5 MHz probe; oestrus detection was monitored by 3 personnel in 8 h shifts. Follicular dynamics were analysed using GLM in SAS and " $\chi^2$ "; the best prediction variable was determined using the stepwise procedure; the differences between offered insemination and birth were proved with "z" statistics. The days of the first postpartum oestrus,  $38.3 \pm 20.2$  vs  $52.9 \pm 30.4$  days were different ( $p < 0.05$ ) in dairy cows of 1 and 2 or more births, respectively; the following oestrus occurred every  $22.1 \pm 3.8$  days in cycles of 2 (51.5 %) and 3 (48.5 %) follicular waves; the dominant follicle diameter was 15.7 mm, with 85 % of ovulation at first oestrus; the first insemination occurs at  $84.1 \pm 32.5$  days; the difference ( $p < 0.01$ ) between offered inseminations (36.4 %) and registered births (51.3 %) is attributed to oestrus detection and time of insemination. It is concluded that the follicular dynamics after the first oestrus occur in a similar mode in all cows; the efficiency and accuracy in oestrus detection improves the reproductive behavior in cattle.

Key words: Follicular dynamics, Oestrus, Insemination, Reproductive efficiency, Cows.



# CONTENIDO

|                                                                   | pág  |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| RESUMEN .....                                                     | VI   |
| ABSTRACT .....                                                    | VII  |
| CONTENIDO .....                                                   | VIII |
| INDICE DE FIGURAS .....                                           | XI   |
| INDICE DE CUADROS .....                                           | XI   |
| INTRODUCCIÓN .....                                                | 1    |
| OBJETIVOS .....                                                   | 3    |
| REVISIÓN DE LITERATURA .....                                      | 4    |
| 1. GENERALIDADES .....                                            | 4    |
| 2. EL CICLO ESTRAL EN GANADO BOVINO .....                         | 5    |
| 2.1. Etapas del ciclo estral .....                                | 6    |
| 2.1.1. Proestro .....                                             | 6    |
| 2.1.2. Estro .....                                                | 6    |
| 2.1.3. Metaestro .....                                            | 7    |
| 2.1.4. Diestro .....                                              | 7    |
| 2.2. Endocrinología del ciclo estral .....                        | 7    |
| 2.2.1. Fase folicular temprana .....                              | 7    |
| 2.2.2. Fase folicular tardía .....                                | 8    |
| 2.2.3. Periodo periovulatorio .....                               | 10   |
| 2.2.4. Fase luteal .....                                          | 11   |
| 2.3. Eventos endocrino-fisiológicos durante el ciclo estral ..... | 13   |
| 2.3.1. Liberación pulsátil de LH .....                            | 13   |
| 2.3.2. Regulación de la secreción de LH .....                     | 13   |
| 2.3.3. Actividad aromatasa .....                                  | 14   |
| 2.3.4. Desarrollo del cuerpo lúteo .....                          | 14   |
| 2.3.5. Regresión del cuerpo lúteo .....                           | 16   |
| 3. DINÁMICA FOLICULAR EN GANADO BOVINO .....                      | 18   |
| 3.1. Patrones de crecimiento folicular .....                      | 18   |
| 3.2. Clasificación folicular .....                                | 19   |
| 3.3. Tasa de crecimiento folicular .....                          | 19   |
| 3.4. Fases de crecimiento y desarrollo folicular .....            | 21   |
| 3.4.1. Reclutamiento .....                                        | 21   |
| 3.4.2. Selección .....                                            | 22   |
| 3.4.2.1. Naturaleza del mecanismo de selección .....              | 24   |
| 3.4.2.2. Aspectos celulares del mecanismo de selección .....      | 25   |
| 3.4.3. Dominancia .....                                           | 26   |
| 3.4.4. Ovulación .....                                            | 29   |
| 3.4.5. Atresia .....                                              | 29   |
| 3.5. Número de ondas foliculares por ciclo .....                  | 30   |
| 3.6. Regulación de ondas de desarrollo folicular .....            | 30   |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.7. Primer ciclo ovárico posparto .....                                          | 33 |
| 3.8. Ciclo estral con dos folículos dominantes .....                              | 33 |
| 3.9. Ciclo estral con tres folículos dominantes .....                             | 34 |
| 4. ULTRASONOGRAFÍA Y ACTIVIDAD OVÁRICA POSPARTO .....                             | 34 |
| 4.1. Justificación de su uso .....                                                | 34 |
| 4.2. Operación del equipo y usos potenciales.....                                 | 35 |
| 4.3. Ecografía de la actividad ovárica posparto .....                             | 35 |
| 4.4. Dinámica folicular ovárica y ultrasonografía .....                           | 37 |
| 5. FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO<br>REPRODUCTIVO EN GANADO LECHERO ..... | 40 |
| 5.1. Detección de estros .....                                                    | 40 |
| 5.1.1. El problema de la detección de estros .....                                | 41 |
| 5.1.2. Sistemas para detección de estros .....                                    | 41 |
| 5.1.2.1. Observación diaria .....                                                 | 42 |
| 5.1.2.2. Pintura en la base de la cola .....                                      | 42 |
| 5.1.2.3. Kamar .....                                                              | 43 |
| 5.1.2.4. Heat watch .....                                                         | 43 |
| 5.1.2.5. Uso de animales .....                                                    | 43 |
| 5.1.2.6. Temperatura corporal y en leche .....                                    | 44 |
| 5.1.2.7. Podómetros .....                                                         | 45 |
| 5.1.2.8. Resistencia eléctrica intravaginal .....                                 | 46 |
| 5.1.2.9. Televisión en circuito cerrado y cámara de video .....                   | 46 |
| 5.1.3. Eficiencia y precisión en la detección de calores .....                    | 47 |
| 5.2. Número de parto .....                                                        | 48 |
| 5.3. Producción de leche .....                                                    | 49 |
| 5.4. Condición corporal .....                                                     | 51 |
| 5.5. Nutrición y reproducción .....                                               | 53 |
| 5.6. Desórdenes reproductivos .....                                               | 54 |
| 5.6.1. Distocia .....                                                             | 54 |
| 5.6.2. Retención de placenta .....                                                | 55 |
| 5.6.3. Metritis .....                                                             | 56 |
| 5.6.4. Cuerpo lúteo de vida corta .....                                           | 57 |
| 5.6.4.1. Desarrollo folicular inadecuado .....                                    | 58 |
| 5.6.4.2. Liberación prematura de PGF2 $\alpha$ .....                              | 59 |
| 5.6.5. Persistencia folicular .....                                               | 60 |
| 5.6.6. Quiste folicular .....                                                     | 61 |
| HIPÓTESIS.....                                                                    | 63 |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....                                                         | 64 |
| 1. LOCALIZACIÓN.....                                                              | 64 |
| 2. SISTEMA DE PRODUCCIÓN.....                                                     | 64 |
| 3. ANIMALES.....                                                                  | 64 |
| 4. MANEJO DEL GANADO.....                                                         | 65 |



|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5. DINÁMICA FOLICULAR Y DETECCIÓN DE ESTROS.....                             | 65 |
| 6. VARIABLES INDEPENDIENTES.....                                             | 66 |
| 6.1. Número de parto.....                                                    | 66 |
| 6.2. Producción de leche.....                                                | 66 |
| 6.3. Condición corporal.....                                                 | 66 |
| 6.4. Época del año.....                                                      | 66 |
| 7. VARIABLES RESPUESTA.....                                                  | 67 |
| 7.1. Días al primer estro.....                                               | 67 |
| 7.2. Días al segundo estro.....                                              | 67 |
| 7.3. Días al tercer estro.....                                               | 67 |
| 7.4. Longitud del primer ciclo.....                                          | 67 |
| 7.5. Número de ondas foliculares en el primer ciclo.....                     | 68 |
| 7.6. Diámetro del folículo ovulatorio del primer estro.....                  | 68 |
| 7.7. Diámetro del folículo ovulatorio del segundo estro.....                 | 68 |
| 7.8. Días al primer servicio.....                                            | 68 |
| 7.9. Incidencia de ovulación al primer estro.....                            | 69 |
| 7.10. Incidencia de ovulaciones sin estro.....                               | 69 |
| 7.11. Incidencia de quistes foliculares.....                                 | 69 |
| 7.12. Incidencia de metritis.....                                            | 69 |
| 7.13. Incidencia de quiste luteal.....                                       | 70 |
| 7.14. Servicios y partos registrados.....                                    | 70 |
| 8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....                                                 | 70 |
| 8.1. Modelos estadísticos.....                                               | 70 |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....                                          | 75 |
| 1. Días al primero, segundo y tercer calor posparto .....                    | 79 |
| 2. Longitud del primer ciclo estral .....                                    | 80 |
| 3. Número de ondas foliculares .....                                         | 82 |
| 4. Días al primer servicio .....                                             | 82 |
| 5. Diámetro del folículo ovulatorio .....                                    | 83 |
| 6. Ovulaciones al primer estro .....                                         | 84 |
| 7. Ovulaciones sin estro .....                                               | 85 |
| 8. Quiste folicular .....                                                    | 85 |
| 9. Metritis .....                                                            | 86 |
| 10. Quiste luteal .....                                                      | 86 |
| 11. Detección de calores y comportamiento reproductivo en ganado lechero.... | 86 |
| 12. Discusión general .....                                                  | 88 |
| <b>CONCLUSIONES</b> .....                                                    | 91 |
| <b>RECOMENDACIONES</b> .....                                                 | 92 |
| <b>LITERATURA CITADA</b> .....                                               | 93 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura                                      | pág |
|---------------------------------------------|-----|
| 1. El ciclo estral en ganado bovino.....    | 5   |
| 2. Dinámica folicular en ganado bovino..... | 21  |

## ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro                                                                                           |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Dinámica folicular en ganado lechero Holstein (Estadística descriptiva).                      | 76 |
| 2. Dinámica folicular por número de parto en ganado lechero Holstein.....                        | 77 |
| 3. Dinámica folicular por época de parto en ganado lechero Holstein.....                         | 78 |
| 4. Dinámica folicular y variables que determinan su variación<br>en ganado lechero Holstein..... | 79 |
| 5. Servicios ofrecidos en 2 periodos consecutivos de 6 meses.....                                | 86 |
| 6. Partos registrados en 2 periodos similares de 2 años consecutivos.....                        | 87 |



## INTRODUCCIÓN

El crecimiento folicular inicia durante el estado fetal y se completa al momento de nacer; en la pubertad y durante el periodo posparto, ocurren los procesos finales de crecimiento y desarrollo folicular denominados: reclutamiento, selección y dominancia (Ireland *et al.*, 2000), y mediante la técnica de ultrasonografía, es posible reconocer la ocurrencia de los procesos de ovulación y atresia folicular. En cada ciclo estral, generalmente se observan de 2 a 3 ondas de crecimiento y desarrollo folicular, y su número determina la longitud del ciclo (Boland *et al.*, 1990; Fortune, 1993; Savio *et al.*, 1993). El folículo ovulatorio emerge de la última onda, y ovula siempre y cuando coincida su fase de dominancia funcional con el proceso de luteólisis. Los folículos dominantes de las ondas anteriores, generalmente sufren regresión y atresia.

El reclutamiento folicular es un proceso por medio del cual, un grupo de 3 a 5 folículos de 2 a 4 mm de diámetro, adquieren habilidad para responder al efecto de las gonadotropinas y continúan su crecimiento. El mecanismo por el cual se determina qué folículos son reclutados, se desconoce; sin embargo, se sabe que este proceso depende de una elevación en los niveles de FSH previo al evento. Inmediatamente después, un solo folículo emerge del grupo reclutado y continúa creciendo, en tanto que el resto de folículos, entran en una fase de regresión y sufren atresia, hasta desaparecer por completo al final del ciclo; no obstante, durante este mismo ciclo, pueden llevarse a cabo de 2 a 3 fases de reclutamiento, que coinciden con el número de ondas de crecimiento y desarrollo folicular del ciclo (Driancourt, 1991; Lucy *et al.*, 1992; Roche *et al.*, 1992).

La selección folicular es el proceso por medio del cual, un solo folículo del grupo reclutado, continúa su crecimiento en presencia de FSH; sin embargo, cuando alcanza un tamaño de 6 mm de diámetro, es capaz de producir sustancias que inhiben el crecimiento del resto de folículos, y se vuelve LH-dependiente; esto se ha demostrado por la presencia de receptores a esta hormona cuando se está llevando a cabo el proceso de selección (Ginther *et al.*, 1996). Un folículo es considerado dominante funcional, si ovula en respuesta a la inyección de PGF2 $\alpha$ ; si esto no ocurre, su dominancia es solo morfológica;

además, la alta concentración de progesterona a la mitad del ciclo, reduce el tamaño del folículo dominante; por esa razón, el diámetro del folículo de la primera onda es mayor. A este proceso continuo de crecimiento, desarrollo y maduración o atresia, se le conoce con el nombre de dinámica folicular, y es común observarla también, al inicio de la pubertad y durante la preñez temprana en ganado lechero.

La dinámica folicular y el comportamiento reproductivo en ganado lechero, pueden ser afectados por los siguientes factores: número de parto, nivel de producción láctea, condición corporal, época del año, eficiencia y precisión en la detección de calores, salud uterina y balance de energía. La fertilidad del ganado bovino declina con la edad, a medida que aumenta el número de parto; además, las vacas adultas producen más leche durante los primeros 70 días, afectando eventos como: involución uterina, metritis, tiempo requerido para establecer ciclos de duración normal, duración del estro, intensidad en la presentación del estro, proporción de vacas con ovulaciones silenciosas, proporción de vacas con signos externos de celo sin ovulación, desarrollo de quistes ováricos, folículos y cuerpos lúteos persistentes, días abiertos, fertilidad a los primeros servicios, e intervalo entre partos. En diversos estudios se ha establecido que la alta producción de leche tiene un efecto directo sobre dichos eventos reproductivos; sin embargo, esta relación no ha sido totalmente aclarada (Nakao *et al.*, 1992; Nebel y McGilliard, 1993; El-Din *et al.*, 1995; Eicker *et al.*, 1996).

La habilidad en la detección de calores influye en el comportamiento reproductivo del ganado lechero. La eficiencia en la detección se expresa como un porcentaje de estros observados en relación a los ocurridos durante un periodo de tiempo; la precisión en la detección de calores se refiere al tiempo que ha transcurrido, desde el inicio del estro hasta su detección, resultando en servicios de inseminación fuera del periodo más adecuado, reduciéndose la tasa de concepción, y aumentando el periodo abierto y el intervalo entre partos (Heersche y Nebel, 1994).

Considerando lo anterior, se plantea el presente estudio con los siguientes objetivos.



## OBJETIVOS

Determinar el efecto de número de parto, producción de leche, condición corporal y época del año, en la dinámica folicular al primer servicio posparto en vacas Holstein.

Evaluar el impacto de la detección de calores en el comportamiento reproductivo del ganado lechero.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### 1. GENERALIDADES

Las prácticas de manejo del hato y de cada vaca en forma individual, afectan el comportamiento y la eficiencia reproductiva del ganado lechero. Entre estas prácticas se pueden mencionar: examen posparto, periodo de espera voluntario, bioestimulación, detección de calores, eficiencia y precisión en la detección de calores, lugar de detección, ayudas en la detección de calores, periodo de detección del celo, manipuleo del semen, técnica de inseminación artificial, hora de servicio en relación al inicio del celo, sitio de depósito del semen, diagnóstico de gestación, condición corporal, estrés calórico, instalaciones, manejo alimenticio, tratamiento de enfermedades uterinas, y estado general de salud (Britt, 1985; Coleman *et al.*, 1985; Williams *et al.*, 1988; Gallagher y Senger, 1989; Lucy *et al.*, 1991; Burns y Spitzer, 1992; Nakao *et al.*, 1992; Nebel y McGilliard, 1993; Walker *et al.*, 1996; Bono, 1997; Domecq *et al.*, 1997; Pursley *et al.*, 1998).

Los desórdenes y el comportamiento reproductivo son muy similares en muchos hatos, y son las prácticas de manejo de cada hato las que influyen en la incidencia de problemas adicionales como: retención de placenta, infección uterina, días abiertos largos, servicios por concepción altos, intervalo entre partos muy largos y un alto porcentaje de vacas desechadas por problemas reproductivos y baja producción de leche. Los productores de leche incrementan sus ganancias cuando sus vacas paren por primera vez a los dos años de edad, y siguen pariendo cada 12 o 13 meses, con una larga estancia en el hato produciendo leche. Sin embargo, la edad al primer parto es en realidad de 2.5-3 años de edad y los siguientes partos se suceden en periodos mayores de 13 meses y la estancia de la vaca se reduce a solo 3-4 lactancias (Pellissier, 1982; citado por Coleman *et al.*, 1985). El comportamiento reproductivo afecta las ganancias de los productores de leche debido a que hay un efecto directo sobre la producción por vaca por día, número de reemplazos y tasa anual de desechos, ya que el comportamiento reproductivo y las ganancias económicas responden positivamente al mejoramiento en la tasa de detección de estros, la tasa de concepción y manejo de la vaca alrededor del parto (Britt, 1985).



La disminución del rendimiento reproductivo está relacionado con los picos más altos de producción láctea. Hay razones suficientes para afirmar que existe un efecto adverso sobre la fertilidad en los primeros meses de lactancia, como consecuencia de la alta producción de leche. Las vacas con producción superior a los 38 kg/d y con alto rendimiento graso, tienen más dificultades para concebir que las de menor producción, y la intensidad de los síntomas estrales disminuye, lo que conduce a más inseminaciones infértiles (Gordon, 1996).

## 2. EL CICLO ESTRAL EN GANADO BOVINO

En la pubertad se desarrolla en la hembra un patrón rítmico de acontecimientos fisiológicos, que inducen cambios morfológicos y en la conducta del animal, de carácter cíclico y repetitivo, a menos que sean interrumpidos por la gestación o por alguna condición patológica. Las modificaciones de la conducta son más fáciles de detectar que los cambios morfológicos en los órganos reproductores, es por eso que el periodo de receptividad sexual es tomado como punto de partida de los cambios cíclicos (Figura 1).

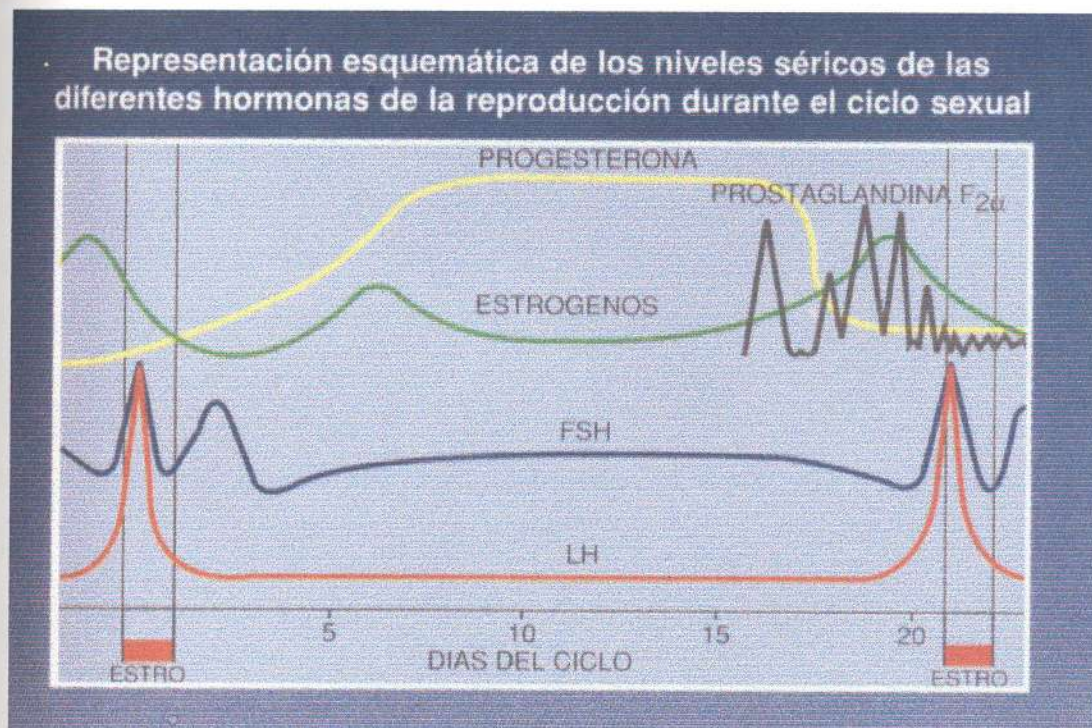


Figura 1. El ciclo estral en ganado bovino.



## **2.1. ETAPAS DEL CICLO ESTRAL**

Debido a que hay un solo periodo de estro en cada ciclo, la secuencia de eventos que ocurre entre dos estros sucesivos se llama ciclo estral. El ciclo estral de los animales domésticos se divide en cuatro etapas: proestro, estro, metaestro y diestro.

### **2.1.1. PROESTRO**

Es el periodo de crecimiento folicular rápido bajo estimulación gonadotrópica. En este periodo el animal está expuesto y su conducta responde al incremento progresivo del nivel de estrógeno secretado por el folículo en desarrollo. Esta etapa dura solamente de dos a tres días en las especies domésticas y se asocia con la disminución progresiva de los niveles de progesterona, debido a la regresión del cuerpo lúteo del ciclo anterior. En esta etapa, los pulsos hipotálamo-hipofisarios de GnRH, LH y FSH, se presentan con mayor frecuencia pero son de menor amplitud. El flujo sanguíneo en el tracto reproductor aumenta, provoca edema y secreción mucosa proveniente del epitelio del oviducto, útero, cuello y vagina (Mc Donald y Pineda, 1991; Hafez, 1996).

### **2.1.2. ESTRO**

Es el periodo de receptividad sexual, en el que ocurre el apareamiento y se inicia la formación del cuerpo lúteo, incluso antes de que ocurra la ovulación. El principio del estro es un fenómeno gradual; la detección del momento preciso en que inicia el estro es de difícil determinación, ya que depende de muchos factores, de los cuales, el principal es el cambio de conducta en el comportamiento del animal. El útero aumenta de tamaño, presentando miometrio engrosado e hipertónico, y secreta grandes cantidades de moco viscoso que corre por todo el cuello relajado. La vagina se dilata y es hiperémica y se cubre con abundante moco líquido que puede escurrir de la vulva húmeda e hinchada. La vaca en estro muge con frecuencia, no descansa, no consume alimento ni agua, monta a otras vacas en estro, y produce menos leche. La elevada concentración de estradiol ejerce una retroalimentación positiva en el eje hipotálamo-adenohipofisario, para inducir una cascada de GnRH, LH, FSH y PRL, con un pico preovulatorio de LH que precede a la ovulación por casi 30 h. La longitud del estro se determina usualmente por la duración del periodo de aceptación del macho y varía entre 14 y 18 h en la vaca. El proestro y el estro forman parte de la fase folicular del ciclo estral (Gordon, 1996; Hafez, 1996).



### 2.1.3. METAESTRO

Es el periodo de transición entre ovulación y desarrollo completo del cuerpo lúteo. Durante el metaestro, el sistema reproductor cambia, del predominio de estrógenos, al de progesterona. En la rotura del folículo, se organiza el cuerpo hemorrágico que incrementa la producción de progesterona, oxitocina e inhibina, mientras que disminuye la producción de estrógenos. En vaquillas se observa una hemorragia endometrial que parece relacionarse con la caída en la concentración de estrógenos. Para la mayoría de especies que ovulan antes del final del estro, el metaestro se incluye parcial o totalmente en la fase folicular del ciclo estral. En especies que ovulan después del final del estro, como la vaca, el metaestro forma parte de la fase luteal del ciclo estral (Gordon, 1996).

### 2.1.4. DIESTRO

Es la fase más prolongada del ciclo, durante la cual el cuerpo lúteo se desarrolla de manera total y los órganos reproductores se encuentran bajo la influencia dominante de la progesterona y la oxitocina, aumenta el grosor del endometrio, las glándulas endometriales están más largas y enroscadas, por ello el endometrio se contrae, disminuyen las secreciones, desaparecen el edema y la congestión de la mucosa, que aparece seca y contraída y de color blanco; durante esta etapa del ciclo, la hembra no permite ser montada, y en ocasiones se vuelve agresiva ante los intentos del macho, o de otras vacas, por montarla; el metaestro y el diestro forman la fase lutea del ciclo estral (Ruckebusch *et al.*, 1994; Gordon, 1996).

## 2.2. ENDOCRINOLOGÍA DEL CICLO ESTRAL

### 2.2.1. FASE FOLICULAR TEMPRANA

El tratamiento con GnRH en dosis bajas, estimula el reclutamiento y crecimiento folicular al final del ciclo estral. Esto ha sido la base principal para buscar evidencias de cambios similares en la secreción de gonadotropinas al momento de la luteólisis, y por lo tanto, del reclutamiento folicular a lo largo del ciclo estral. La alta secreción de progesterona, causa una reducción en la frecuencia y un incremento en la amplitud del episodio de secreción de LH, con poco efecto sobre la liberación de FSH. Si este patrón de liberación de LH (un pulso cada 3 h) es imitado por tratamiento hormonal exógeno, el



reclutamiento y maduración folicular, no ocurren. Cuando los niveles de progesterona caen, por efecto de la luteólisis, ocurre un incremento en la frecuencia de pulsos de LH (un pulso por hora) asociado con el proceso de reclutamiento, y el inicio de la fase folicular del ciclo estral. La naturaleza pulsátil de la secreción de LH puede ser vital para la máxima estimulación de los receptores aprovechables por la LH circulante; por lo tanto, la señal principal para el reclutamiento folicular parece ser el incremento en el episodio de secreción de LH, en presencia de adecuados y constantes niveles de FSH.

La consecuencia inicial del incremento en la producción de estradiol en la fase folicular temprana, es la activación de un mecanismo de retroalimentación positiva. Esto culmina con la liberación de la oleada preovulatoria de gonadotropinas. A la par de estos cambios en la actividad esteroideogénica, el tejido folicular también es responsable de la producción de proteínas y péptidos regulatorios no esteroideos. Estos pueden tener efectos locales mitogénicos, estimulación del crecimiento del folículo y la actividad de factores de crecimiento, tales como los IGF-1, no muy conocidos. También hay evidencia de que existen dos inhibidores, no esteroideos, de la secreción de FSH, estos son: inhibina y folistatina, producidos por el folículo. Estos, en coordinación con el incremento en la producción de estrógenos, son responsables de la inhibición gradual de la secreción de FSH durante la fase folicular temprana. Mientras que esta fase folicular es un periodo de estimulación ovárica, que resulta en el crecimiento y maduración del folículo ovulatorio, las mismas señales endocrinas inician la involución del endometrio uterino y de las glándulas uterinas. Este periodo inicial de involución es un requisito necesario para que se den los cambios característicos en la estructura y función del tracto reproductivo que ocurre cuando la dominancia de los estrógenos es establecido (Foxcroft, 1993).

### **2.2.2. FASE FOLICULAR TARDÍA**

Los cambios endocrinos en la secreción hormonal de la pituitaria y el ovario durante la fase folicular y al inicio de la fase luteal, es decir, después de ocurrir la luteólisis, inician con un incremento en las concentraciones de estradiol, estimulado por un aumento en la frecuencia de los pulsos de LH. En contraste, la concentración de FSH es suprimida por el incremento en estradiol e inhibina (retroalimentación negativa) del folículo preovulatorio. Después de la oleada de LH y la ovulación, cuando los niveles de LH y



esteroides ováricos son bajos, hay un marcado aumento en la concentración de FSH (segundo pico de FSH) el día 1 del ciclo, seguido por un incremento en la secreción de estradiol, a partir del primer grupo de folículos antrales reclutados en la primera onda del siguiente ciclo; sin embargo, esta relación temporal no es conocida con exactitud (Souza *et al.*, 1997).

La cascada de eventos establecidos como consecuencia de la luteólisis, continúan durante la fase folicular tardía. El incremento en la concentración periférica de estradiol, tiene efectos importantes en un buen número de tejidos blanco. El mecanismo central de la oleada preovulatoria de gonadotropinas tendría que ser activado antes, para suceder después un periodo de inhibición de LH; la oleada de LH y FSH es disparada, probablemente, por un incremento en la secreción de GnRH proveniente del hipotálamo, y por la sensibilización de la hipófisis al GnRH. El otro efecto importante de los estrógenos es producir la conducta de estro y la receptividad al macho, situaciones por demás importantes en el reconocimiento de los síntomas del estro. Además, las secreciones de la mucosa vaginal y la distensión de la vulva y cervix, debido al edema del tejido, son característicos del estado que guarda el ciclo estral, en presencia de los estrógenos; estos cambios facilitan el coito por lubricación de la vagina, y promueven la entrada del espermatozoide de la unión útero-cervical (Foxcroft, 1993). El dominio de estrógenos induce un incremento en la motilidad, la cual es esencial para el transporte rápido del espermatozoide dentro del oviducto. El patrón de migración espermática y la motilidad del tracto son controlados para garantizar un número máximo de espermatozoides maduros en la unión ampulato-istmo del oviducto al momento de la fertilización.

La dominancia estrogénica del útero también se caracteriza por una gran invasión de linfocitos, la cual protege a la hembra de infecciones y resulta en la absorción de productos seminales después del apareamiento, aunque hay cambios inmunológicos más complejos. A nivel del ovario, el evento más importante de la fase folicular tardía es la respuesta a la oleada preovulatoria de gonadotropinas, con activación de los receptores de LH, que en este estado, ponen en marcha la cascada de eventos que conducen a la ovulación. La respuesta inmediata es una caída dramática en la síntesis de estrógenos debido a la falta del andrógeno precursor. Las células de la granulosa y la teca también



inician el proceso de luteinización, que incluye tanto cambios morfológicos como esteroideogénicos. La oleada de LH también dispara la reanudación de la meiosis en los oocitos de los folículos preovulatorios, bloqueada desde edades muy tempranas, en que es detenida. Esos cambios nucleares son reconocibles por inactivación de la vesícula germinal alrededor del núcleo del oocito y por la extrusión del primer cuerpo polar (Foxcroft, 1993).

### 2.2.3. PERIODO PERIOVULATORIO

El primer evento importante que ocurre en este periodo es la ovulación y liberación del oocito maduro al interior del oviducto, seguido por una transformación total del tejido de ruptura folicular para formar el cuerpo lúteo. En segundo lugar, los espermatozoides son liberados al sitio de fertilización para sufrir importantes cambios en su maduración. El proceso de ovulación incluye la ruptura física de la pared distal del folículo preovulatorio, el cual se lleva a cabo por una serie de cambios bioquímicos y vasculares. Enzimas proteolíticas y colagenasa incrementan su actividad dando paso a cambios vasculares y reacciones inflamatorias reforzadas por la actividad del músculo liso en la pared del folículo. La síntesis de prostaglandinas es quizá un regulador importante de esos cambios y actúa probablemente en asociación con la síntesis de otros metabolitos para producir esos efectos en respuesta a la estimulación de LH. A la ovulación, el oocito es envuelto por células de la granulosa (el cumulus-oofurus). Este complejo oocito-cumulus-oofurus, es arrastrado hacia la parte proximal, al final del oviducto, por la actividad ciliar del infundíbulo o fimbria. Al mismo tiempo, el espermatozoide es transportado de la unión útero-tubal a la misma posición en el oviducto y, en respuesta a la exposición al ambiente del útero y del oviducto, sufre el proceso de maduración conocido como capacitación. Durante la etapa inicial del ciclo continúa una invasión de células de la granulosa y la teca dentro del área central, la cual se diferencia como parte del proceso de luteinización, para formar las células luteales grandes y pequeñas. Esas células luteales tienen actividades diferentes que actúan de manera sinérgica en la síntesis de progesterona (Foxcroft, 1993).

Las hormonas que promueven la función luteal (luteotropinas) varían entre especies, pero la LH, PRL y PGE<sub>2</sub>, ejercen una importante actividad luteotrópica. El patrón



de secreción de gonadotropinas en este estado del ciclo estral es muy característico. La secreción de LH es casi suprimida totalmente, quizá debido a la falta de secreción de GnRH y debido a la desensibilización de la pituitaria al GnRH después de la oleada de LH. En contraste, la ausencia de péptidos inhibidores y estrógenos, después de la ruptura folicular, permitirá un incremento dramático en la secreción de FSH entre la ovulación y el tiempo al cual las concentraciones de progesterona alcanzan los niveles de la fase luteal. Esta secreción de FSH tiene la función de promover el reclutamiento de la primera onda folicular del nuevo ciclo.

#### **2.2.4. FASE LUTEAL**

La fase del ciclo estral de mayor duración es conocida como fase luteal, en la que está presente un cuerpo lúteo activo. Sin embargo, la presencia de folículos antrales durante toda la fase luteal, sugiere que la duración real de la fase folicular es mayor. Por tanto, la fase luteal se superpone parcialmente a la fase folicular, oscureciendo la relación entre las concentraciones plasmáticas basales de FSH y LH con el crecimiento folicular (Hafez, 1996). En mamíferos domésticos, hay un segundo ascenso de la FSH, 20 a 30 h después de la oleada preovulatoria de LH y FSH. Tal incremento postovulatorio de FSH, desencadena la formación del antro en la población folicular, que incluye candidatos para ovular uno o dos ciclos más tarde. En ovejas, el segundo pico de FSH es más alto en animales con mayor tasa de ovulación, y la magnitud de ese pico se correlaciona con el número de folículos antrales presentes en el ovario, 17 días después. Con base en estimaciones de la duración del crecimiento de los folículos antrales, ha sido posible establecer que el lapso entre la formación del antro y la ovulación es de 17 a 34 días. Solo unos pocos de esos folículos antrales diferenciados crecen hasta llegar a la ovulación, los otros sufren atresia y degeneran (Foxcroft, 1993; Hafez, 1996).

La duración relativamente prolongada de la fase folicular en mamíferos domésticos, quizá se debe a la desaceleración del crecimiento folicular por la progesterona procedente del cuerpo lúteo. Por otra parte, al descenso en la concentración de progesterona durante la fase luteal en vacas, por enucleación del cuerpo lúteo o por luteólisis provocada por inyección de  $\text{PGF}_2\alpha$ , le sigue un acortamiento del ciclo; se presenta una aceleración inmediata del crecimiento folicular, signos de estro a los tres



días aproximadamente, y ovulación posterior. Esta es la base fisiológica de la sincronización del estro en vacas tratadas con PGF2 $\alpha$  (Hafez, 1996).

El propósito primario de la secreción de progesterona del cuerpo lúteo es para asegurar el desarrollo del endometrio uterino en preparación para la implantación y estimular la actividad secretora de las células del oviducto y de las glándulas endometriales. Esta actividad secretora provee la nutrición del útero para el desarrollo del embrión, previo a la unión con la placenta. La dominancia de progesterona causa hipertrofia e incremento en la vascularización del endometrio. En especies rumiantes, las áreas carunculares forman zonas especializadas en el endometrio cuya vascularización es muy extensa. Esas áreas están destinadas a formar el componente materno de los placentomas que desarrollan durante la placentación en esas especies. Una gran cantidad de proteínas han sido relacionadas con la fase luteal del ciclo durante los días 4 a 16 de la preñez. La secreción de progesterona dependiente de los IGF-1, por los tejidos uterinos, puede ser importante para la actividad mitogénica del endometrio y para la estimulación del desarrollo del blastocisto.

El efecto de la progesterona inhibe la contractilidad uterina. A nivel del hipotálamo, la elevación plasmática de progesterona regula la secreción de LH, en episodios de secreción; los animales con altos niveles de progesterona, manifiestan una reducción en la frecuencia del pulso de LH. El patrón prevaleciente en la secreción de gonadotropinas explica las ondas de crecimiento, desarrollo y atresia folicular, que parecen ser principalmente regulados por mecanismos autocrinos y paracrinos dentro del ovario, entre los que se encuentra el efecto de la progesterona, abundante entre los días 7 y 17 del ciclo estral (Cupp *et al.*, 1995). Lo anterior fue confirmado por Bergfeld *et al.* (1995); estos autores demostraron además que, este efecto de la progesterona ocurre de igual forma cuando se utiliza una fuente exógena de esta hormona; asimismo, encontraron que, las vacas con altos niveles de progesterona, manifiestan bajos niveles de 17  $\beta$ -estradiol. Altas concentraciones de progesterona también inhiben el mecanismo de retroalimentación positiva, con lo cual se asegura que el proceso ovulatorio no opera durante el establecimiento de la función luteal (Foxcroft, 1993).



## **2.3. EVENTOS ENDOCRINO-FISIOLÓGICOS DURANTE EL CICLO ESTRAL**

### **2.3.1. LIBERACIÓN PULSÁTIL DE LH**

La secreción tónica de las hormonas gonadotrópicas y particularmente de LH, no es continua. El muestreo plasmático de LH en animales ovariectomizados, sugirió un modo de secreción casi exclusivamente pulsátil, que es, asimismo, dependiente de la secreción pulsátil de GnRH. Las neuronas que producen GnRH controlan directa o indirectamente cada aspecto de la reproducción, regulando la biosíntesis y liberación de las gonadotropinas (LH y FSH), acciones que están reguladas por una modificación del número de receptores a GnRH en la hipófisis. La LH y FSH producidas en la adenohipófisis, actúan sobre sus receptores a nivel de los folículos ováricos, regulando su maduración, y por lo tanto, la esteroidogénesis. Los esteroides y péptidos que son secretados por los ovarios pasan a través de la circulación general y modifican la secreción pulsátil de GnRH y de las gonadotropinas, estableciéndose así, un mecanismo de autocontrol. El carácter pulsátil de la secreción de GnRH fue demostrado a través del muestreo continuo de su concentración en el torrente sanguíneo del sistema porta hipotálamo-hipofisiario.

### **2.3.2. REGULACIÓN DE LA SECRECIÓN PULSÁTIL DE LH**

Las variaciones de la frecuencia y amplitud de los pulsos de LH son el resultado de la acción de los esteroides en el eje hipotalámico-hipofisiario. A través de mecanismos muy complejos, las hormonas ováricas modulan la actividad de las neuronas productoras de GnRH, mediante sistemas de retroalimentación positivo o negativo. Por ejemplo, durante el ciclo estral, existe un incremento de las concentraciones plasmáticas de estradiol al final de la fase folicular, que constituye la señal ovárica indispensable para inducir la descarga preovulatoria de LH y FSH; este incremento en las concentraciones de estradiol provoca también un pico preovulatorio de GnRH. Sin embargo, durante la fase lútea, el estradiol tiene una función principalmente inhibitoria en la secreción de LH. Los esteroides gonadales implicados directamente en el control de la actividad reproductiva en la hembra son el estradiol y la progesterona. Estos pertenecen a una familia de hormonas de acción nuclear, debido a que sus receptores son proteínas solubles intracelulares, responsables del reconocimiento y transducción del mensaje hormonal. En las células, la



unión de la hormona a su receptor provoca un proceso de activación y transformación que le permite integrarse con el aceptor nuclear y transducir la síntesis del ARNm específico (Gallegos *et al.*, 1999).

### **2.3.3. ACTIVIDAD AROMATASA**

El desarrollo del folículo dominante hasta las dimensiones preovulatorias, depende estrictamente de las gonadotropinas. Los folículos antrales adquieren los receptores para LH en las células de la teca y para FSH en las células de la granulosa. Bajo la influencia de la LH, las células de la teca sintetizan andrógenos que cruzan la lámina basal al interior del compartimiento de las células de la granulosa. Bajo la influencia de FSH, estos andrógenos son convertidos en estrógenos, por medio de la enzima aromatasa. El cambio clave durante el desarrollo de la competencia ovulatoria de un folículo, es la adquisición de receptores a LH. En los folículos en donde esto ha sucedido, la LH actúa induciendo la síntesis de grandes cantidades de estrógenos en sinergia con FSH. Este proceso es un autorrefuerzo, en el que los estrógenos inducen la formación de otros receptores de LH, y ésta, y la FSH, producen una nueva secreción de estrógenos. En bovinos, los folículos que se vuelven dominantes o estrogenoactivos, producen  $10^3$  veces más estrógenos que los folículos subordinados, y tienen considerablemente, mayor número de receptores para LH y FSH. Producto de este incremento en el número de receptores a FSH, el folículo dominante es capaz de sobrevivir a bajas concentraciones plasmáticas de FSH, mientras que los folículos subordinados sucumben con estos bajos niveles (Murphy y Pescador, 1997).

### **2.3.4. DESARROLLO DEL CUERPO LÚTEO**

El cuerpo lúteo es una glándula temporal que se desarrolla a partir de la luteinización del folículo ovulatorio. Este proceso consiste en cambios morfológicos, endocrinos y enzimáticos que ocurren en el folículo preovulatorio hasta que éste se transforma en un cuerpo lúteo funcional. La luteinización comienza antes de la ovulación, en respuesta al pico preovulatorio de FSH y LH, siendo esta última (por medio de su acción luteotrópica) la hormona más importante para la ruptura del folículo y su posterior transformación en una estructura lútea (Baird, 1992).



La ovulación ocurre en promedio 30 h después del pico preovulatorio de LH. Esta hormona provoca cambios en las paredes del folículo, que conducen a su ruptura. Después de la ovulación, el espacio ocupado previamente por el folículo, es invadido por fibroblastos, células endoteliales, células de la teca interna y células de la granulosa. Las células esteroideogénicas del cuerpo lúteo han sido clasificadas de acuerdo a su tamaño en células chicas y células grandes. El origen de estas células se ha estudiado mediante métodos morfológicos e inmunológicos; de esta forma, se sabe que durante la luteinización, las células de la teca interna y de la granulosa, migran y se distribuyen en el espacio que previamente fue ocupado por el folículo ovulatorio.

Las células de la teca interna se multiplican y diferencian en células lúteas pequeñas, productoras de LH, las cuales aumentan en número pero no en tamaño. En contraste, las células de la granulosa se hipertrofian pero no se multiplican, dando origen a las células lúteas grandes, productoras de progesterona y oxitocina (Wiltbank y Niswender, 1992). Después del pico de LH, la producción de estradiol disminuye, y comienza a incrementarse la síntesis de progesterona; así, en el día 4 o 5 después de la ovulación, las concentraciones de progesterona en sangre son mayores a 1 ng/ml, lo que indica que el cuerpo lúteo ha adquirido su plena funcionalidad; a partir de ese momento, y hasta el día 18 del ciclo, el cuerpo lúteo secretará progesterona.

La progesterona es el principal producto de secreción del cuerpo lúteo. Esta hormona actúa básicamente sobre los órganos genitales de la hembra, siendo responsable de la preparación del útero para la preñez. En la mucosa del oviducto y del útero, la progesterona estimula la secreción de sustancias que nutrirán al embrión hasta que este comience a hacerlo a través de la placenta. Además, la progesterona evita las contracciones del útero, cierra el cervix y modifica las características del moco cervical, volviéndolo más viscoso, lo que evita el paso de agentes extraños al interior del útero. Por otra parte, la progesterona estimula el desarrollo del sistema alveolar de la glándula mamaria, preparándola para la síntesis y secreción de leche.



### 2.3.5. REGRESIÓN DEL CUERPO LÚTEO

El cuerpo lúteo es de los pocos órganos que tienen una fase de crecimiento, desarrollo y regresión. La regresión lútea es ocasionada por la liberación pulsátil de  $\text{PGF}_{2\alpha}$ , la cual actúa sobre el cuerpo lúteo, ocasionando cambios que conducen a su degeneración. El mecanismo por el cual se inicia la síntesis y secreción de  $\text{PGF}_{2\alpha}$  depende de una interacción entre el cuerpo lúteo, los folículos y el útero. Los estrógenos foliculares desempeñan un papel importante en el inicio de la secreción de  $\text{PGF}_{2\alpha}$ . La administración de estradiol exógeno en el diestro tardío puede provocar la luteólisis, debido a que permite que la oxitocina estimule en el endometrio, la secreción de  $\text{PGF}_{2\alpha}$ . Esto se debe a que el estradiol promueve la producción de las enzimas fosfolipasa A y ciclooxigenasa, que son indispensables para la síntesis de  $\text{PGF}_{2\alpha}$  en el endometrio.

La oxitocina es una de las tres principales hormonas implicadas en el control de la secreción de  $\text{PGF}_{2\alpha}$ . La secreción de la  $\text{PGF}_{2\alpha}$  depende de la unión de la oxitocina a sus receptores en el endometrio. A partir del día 16 del ciclo en la vaca, aumenta el número de receptores de oxitocina en el endometrio, y este evento determina el momento en que inicia la luteólisis; se ha demostrado que la infusión de oxitocina del día 13 al 20 del ciclo, es capaz de alargar la fase lútea y el ciclo estral, debido a la reducción en la amplitud del pulso de  $\text{PGF}_{2\alpha}$  (Howard *et al.*, 1990); sin embargo, se han reportado resultados contradictorios, en el sentido de que la administración de oxitocina, reduzca la fase lútea del ciclo (Flint *et al.*, 1990). Si los receptores a oxitocina aparecen al inicio del ciclo, la regresión del cuerpo lúteo se adelanta, como ocurre en las hembras que desarrollan cuerpos lúteos de vida corta en la primera ovulación de la época reproductiva, en el posparto temprano y al inicio de la pubertad.

La progesterona ejerce un efecto inhibitorio sobre la secreción de  $\text{PGF}_{2\alpha}$ , debido a que inhibe la formación de receptores para estradiol en el endometrio, y por lo tanto, el estradiol no puede estimular la síntesis de receptores a oxitocina (Lamming y Mann, 1995). Este efecto de la progesterona depende del tiempo de exposición y de las concentraciones de esta hormona, siendo más efectivo a concentraciones más altas. Eventualmente el útero se vuelve refractario al estímulo de la progesterona, esto ocurre



normalmente después de 10 días de exposición a esta hormona, ya que este tiempo es suficiente para que se agoten sus propios receptores. Cuando esto ocurre, la progesterona ya no es capaz de inhibir la síntesis de receptores a estradiol, y éste, o el estradiol exógeno, estimularán la formación de receptores a oxitocina; esta hormona estimulará entonces la secreción de  $\text{PGF2}\alpha$  (Mann *et al.*, 1998; Salfen *et al.*, 1999).

La neurohipófisis libera también oxitocina en forma pulsátil, y uno de esos pulsos estimula la liberación de  $\text{PGF2}\alpha$ . Este primer pulso de  $\text{PGF2}\alpha$ , el cual es de baja magnitud, estimula la liberación de oxitocina de origen lúteo. Así se establece un mecanismo de retroalimentación positivo entre estas dos hormonas. La oxitocina estimula la liberación de  $\text{PGF2}\alpha$ , pero al mismo tiempo, la alta concentración de oxitocina provoca la pérdida de sensibilidad del endometrio, con lo que después de un tiempo, deja de secretar  $\text{PGF2}\alpha$ . Bajo este mecanismo, el estradiol promueve la síntesis de receptores a oxitocina. La secreción pulsátil de  $\text{PGF2}\alpha$  continúa hasta que se completa la regresión del cuerpo lúteo. El número de pulsos de  $\text{PGF2}\alpha$  y la frecuencia con que se presentan es determinante para ocasionar la regresión lútea. La administración de 4 pulsos de  $\text{PGF2}\alpha$  en dosis bajas, no es suficiente para ocasionar luteólisis, mientras que 5 pulsos con las mismas características, causan la destrucción del cuerpo lúteo. Cuando no se establece el patrón luteolítico de secreción pulsátil de  $\text{PGF2}\alpha$ , el cuerpo lúteo no se destruye y persiste. El patrón de secreción pulsátil, con características luteolíticas, es de un pulso de  $\text{PGF2}\alpha$  cada 6 a 8 h, tiempo suficiente para que el endometrio recupere la pérdida de sensibilidad a oxitocina. Durante el reconocimiento materno de la gestación, la secreción de  $\text{PGF2}\alpha$  cambia de un patrón pulsátil a uno continuo, el cual no provoca la regresión del cuerpo lúteo, a pesar de secretarse una gran cantidad de  $\text{PGF2}\alpha$ . El momento en que ocurrirá luteólisis, depende pues, fundamentalmente, del tiempo en que se establece un patrón de secreción pulsátil de  $\text{PGF2}\alpha$  (Geisert *et al.*, 1992; Zarco y Hernández, 2000).

Los mecanismos por medio de los cuales ocurre la luteólisis, son a través de la degeneración de las células endoteliales de los capilares y del cuerpo lúteo, con lo que se reduce el flujo sanguíneo que acompaña a la regresión luteal, más que a través de vasoconstricción causada por la secreción de  $\text{PGF2}\alpha$  (Wiltbank y Niswender, 1992); es



probable que la  $\text{PGF2}\alpha$  afecte la producción de progesterona de las células grandes del cuerpo lúteo, dado que estas células contienen gran cantidad de receptores a  $\text{PGF2}\alpha$ , inhibiendo el estímulo luteotrópico de LH. Se sabe además que, al momento de la luteólisis, células del sistema inmune (macrófagos secretores de citocinas) están presentes en el cuerpo lúteo, fagocitando células y restos celulares, lo que no sucede en el cuerpo lúteo de la gestación; dichas citocinas inhiben la esteroidogénesis y dramáticamente estimulan la producción de  $\text{PGF2}\alpha$ . Finalmente, muchos tipos celulares sufren un proceso de muerte programada conocida como apoptosis, que incluye cambios morfológicos y bioquímicos, entre los que destacan la segmentación del ADN y la síntesis de endonucleasas e inhibidores de metaloproteinasas (Juengel *et al.*, 1994; Pate y Townson, 1994).

### **3. DINÁMICA FOLICULAR EN GANADO BOVINO**

#### **3.1. PATRONES DE CRECIMIENTO FOLICULAR**

El inicio del crecimiento folicular se lleva a cabo en el estado fetal y se completa al momento de nacer. Una vez que se reinicia la fase de crecimiento, se llevan a cabo tres eventos principales: 1) cambio en la forma de las células de la granulosa (de escamosa a cuboidal); 2) proliferación de células de la granulosa, y 3) alargamiento del oocito, es decir, aumento del desarrollo del antro. El inicio del crecimiento folicular a partir del grupo no proliferativo, es continuo a través de la vida productiva de la hembra, tan pronto como los folículos primordiales son formados. Después, se da un proceso continuo de crecimiento hasta que el folículo ovula o sufre atresia. En la mayoría de los folículos, se da el proceso de atresia en todos los estadios de su desarrollo. Se ha estimado que solo de 0.1-0.2 % de los folículos primordiales llegan al estado ovulatorio. En humanos y ovejas, el oocito entra en la fase de crecimiento cuando hay alrededor de 15 células cuboidales de la granulosa. Se ha reportado que en becerras neonatas, la transición de células aplanadas a cuboidales es seguida por cambios estructurales de los oocitos. Sin embargo, el estado exacto en el cual el oocito entra en la fase de crecimiento, en el ovario bovino, es desconocido (Gong y Webb, 1996; Braw y Yossefi, 1997).



### 3.2. CLASIFICACIÓN FOLICULAR

El número de folículos cambia y también su tamaño, durante una onda de crecimiento y desarrollo folicular. Los folículos mayores de 2 mm de diámetro, representan los folículos reclutados, y tienen que entrar a las fases de selección y dominancia. Así, ellos son clasificados de acuerdo a su tamaño, función y características bioquímicas. Hay cuatro clases de folículos de acuerdo a su tamaño: durante el ciclo estral temprano (día 1-4) el número promedio de folículos detectados por ultrasonografía de la clase 1 (3-5 mm) disminuyen, en tanto que el promedio en el número de folículos de la clase 2 (6-9 mm) se incrementa. El número de folículos clase 3 (10-15 mm) después del día 4 del ciclo es de uno solamente, que es el folículo seleccionado. Al mismo tiempo, el número de folículos clase 2 (6-9 mm) se reduce, porque los folículos que no llegan a ser dominantes, reducen su tamaño y sufren atresia folicular. Esto resulta en la detección de pocos folículos clase 2, y más de la clase 1 después del día 7 del ciclo estral. Durante la fase tardía de la primera onda folicular (día 7-9 del ciclo estral) aparecen folículos clase 4 (mayores de 15 mm). El mantenimiento de la supresión de folículos clase 2 (día 9-11) probablemente se debe a efectos de dominancia ejercida por el folículo dominante de la primera onda de crecimiento folicular (Lucy *et al.*, 1992).

### 3.3. TASA DE CRECIMIENTO FOLICULAR

Las tasas de crecimiento folicular son conocidas para algunos mamíferos pequeños y en la mujer. En los grandes mamíferos, la tasa de crecimiento folicular ha sido determinada en cerdas por observación macroscópica, y en algunas razas de ovejas, por observación microscópica. En la vaca, se cuenta con información relativa a estabilidad, reemplazo y tasas de crecimiento de los folículos grandes; la información fue obtenida por observación macroscópica; sin embargo, esos datos no dan informe alguno sobre los folículos pequeños y medianos. Ha sido sugerido que el crecimiento de un folículo antral, al estado preovulatorio en la vaca, requiere de 10 a 40 días. Ya se ha reportado que el folículo de la vaca requiere de 22 días para crecer de 0.4 a 10 mm (Lussier *et al.*, 1987). Sin embargo, la validez de esos cálculos es cuestionable, ya que no concuerdan con otras estimaciones hechas sobre la duración de la mitosis (25.8 minutos).



El conocimiento del desarrollo folicular en la vaca es importante por varias razones, las cuales incluyen no solo aspectos de biología comparativa, sino también el mejor entendimiento y control de la superovulación y del inicio o reinicio de la actividad ovárica asociada con la pubertad y el anestro postparto. En este sentido, Lussier *et al.* (1987) llevaron a cabo la determinación de las tasas de crecimiento de folículos antrales en vaquillas, utilizando el método de colchicina, que consiste en la utilización de un agente que bloquea a todas las células en el estado de la metafase de la meiosis, sin afectar el acceso de nuevas células al proceso de división celular. Lo importante de este método de medición celular, es la reducción en la densidad celular con el incremento en el diámetro del folículo. Se encontró por ejemplo, una densidad celular de 5.6% en folículos clase 2 (0.13-0.28 mm) y solo 2% en folículos clase 6 (3.67-8.56 mm). Además, la formación del antro ocurre cuando los folículos son de clase 2. Por otro lado, el crecimiento temprano de los folículos es atribuido a un incremento en el número de células de la granulosa, y por lo tanto, hay un incremento en la superficie de la capa de la granulosa. En los folículos mayores a 2.5 mm de diámetro, el crecimiento folicular parece resultar del desarrollo del antro, más que de un incremento del número de células de la granulosa; en conclusión, el crecimiento folicular es bajo en los folículos antrales pequeños, pero se incrementa en folículos de 0.68-3.67 mm de diámetro. Este incremento resulta no solo del aumento del número de células, sino también de una reducción en la duración de la mitosis. A medida que aumenta la tasa de crecimiento y el diámetro folicular, se incrementa así mismo, el porcentaje de folículos atrésicos (Lussier *et al.*, 1987).

La tasa de crecimiento a diferentes estados del ciclo estral, es distinta. En vaquillas con tres ondas de crecimiento folicular, la tasa de crecimiento por día fue de 5.5, 4.3, y 3.6 mm, respectivamente. Para los tres folículos dominantes solo se encontraron diferencias significativas entre los folículos 1 y 3. También se observaron diferencias en la duración del crecimiento de diferentes folículos dominantes, con rango de 3.4 días para el primer folículo a 6.3, para el tercero. El primer folículo puede ser detectado por un periodo de 11.3 días, el segundo por 7.4 días y el tercero por 6.1 días solamente. En vaquillas con 2 ondas de crecimiento folicular, no hay diferencia en la tasa de crecimiento o duración de la detección, pero la duración del crecimiento fue mayor para el segundo folículo dominante (Boland *et al.*, 1990).



### 3.4. FASES DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO FOLICULAR

Los folículos pasan por las siguientes fases de crecimiento y desarrollo: reclutamiento, selección, dominancia y ovulación/atresia (Figura 2); lo anterior resulta en el desarrollo cíclico de folículos dominantes ovulatorios y no ovulatorios a través del ciclo estral, y FSH es la hormona que dispara fisiológicamente este patrón de crecimiento folicular cíclico; la ovulación ocurre si la fase de dominancia del último folículo seleccionado coincide con la liberación de  $\text{PGF2}\alpha$  (Sunderland *et al.*, 1994).

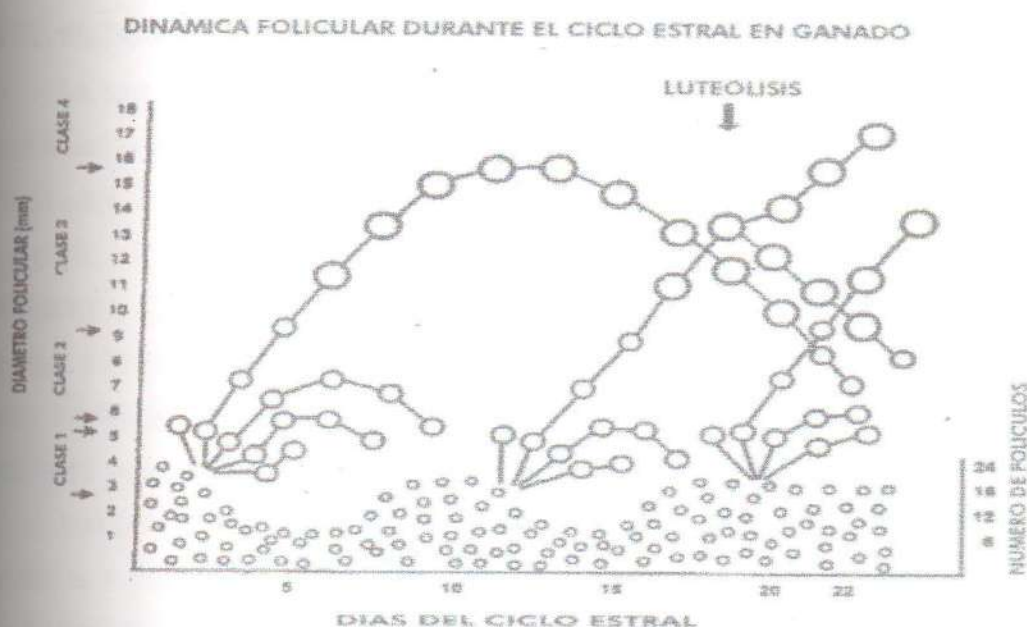


Figura 2. Dinámica folicular en ganado bovino (Tomado de Lucy *et al.*, 1992).

#### 3.4.1. RECLUTAMIENTO

El reclutamiento folicular es un evento durante el cual un grupo de 3-5 folículos adquieren habilidad para responder al efecto de las gonadotropinas y continuar su crecimiento, o dicho de otro modo, es el estado folicular en el cual los folículos son críticamente dependientes del efecto de las gonadotropinas. Al inicio del ciclo estral, un conjunto de folículos es reclutado de un grupo de pequeños folículos antrales de 2-4 mm de diámetro. El mecanismo que controla el reclutamiento de esos folículos pequeños y determina cuales son reclutados, es desconocido, pero incrementando las concentraciones de FSH en plasma, después de la ovulación, se puede estimular dicho proceso. Después de 2-4 días de reclutamiento, algunos folículos de tamaño mediano, de

6-9 mm de diámetro, pueden ser detectados por ultrasonografía. Inmediatamente después del reclutamiento, un solo folículo emerge y continúa creciendo, en tanto que los otros folículos reclutados reducen su tamaño. El folículo que emerge del conjunto reclutado, es seleccionado y viene a ser dominante. Generalmente, es el más grande, y puede rebasar los 10 mm de diámetro; este folículo es capaz de suprimir el crecimiento de los otros folículos, y ovula, si su desarrollo coincide con la regresión del cuerpo lúteo, o sufre atresia en presencia de un cuerpo lúteo activo (Ireland, 1987; Driancourt, 1991; Lucy *et al.*, 1992; Roche *et al.*, 1992).

### 3.4.2. SELECCIÓN

La selección folicular es un proceso donde solo unos pocos de los folículos reclutados son seleccionados, y escapan al proceso de atresia y sobreviven para ovular alguno de ellos. Se ha propuesto que el proceso de selección se lleva a cabo mediante tres eventos: 1) habilidad de los folículos preantrales para responder a las gonadotropinas; 2) elaboración de factores inhibidores que lleva a cabo el folículo dominante; y 3) retroalimentación entre el folículo dominante y la glándula pituitaria. Como no todos los folículos en crecimiento están en el mismo grado de desarrollo durante el reclutamiento, puede ser diferente el número de células de la granulosa y la teca y por lo tanto, el número de receptores a gonadotropinas, cuando los folículos son más dependientes a este estímulo para continuar creciendo, aunque no existe clara evidencia de ello (Ireland, 1987).

Los factores foliculares inhiben la esteroidogénesis llevada a cabo por las células de la granulosa, y apoyan la idea de que un folículo dominante puede inhibir el crecimiento de otros folículos, pero no el suyo propio. Un sistema de retroalimentación entre el folículo dominante y la pituitaria, y la habilidad del folículo para sobrevivir en un medio ambiente hormonal que suprime el crecimiento de los otros folículos, puede explicar en parte el proceso de selección. En ganado bovino, el folículo dominante posee mayor actividad inhibitoria y contenido de estradiol que los otros folículos. El fluido folicular, mismo que contiene inhibina, y el propio estradiol, deprimen la secreción de FSH. Esta hormona mejora la producción tanto de inhibina como de estradiol en cultivos de células de la granulosa. Así, el clásico sistema de retroalimentación negativa puede existir entre



inhibina y estradiol a partir del folículo dominante, y de FSH, a partir de la glándula pituitaria (Ireland, 1987).

El proceso de selección también puede llevarse a cabo mediante una interferencia de los folículos más grandes del grupo reclutado, con los más pequeños, para recibir aportes adecuados de gonadotropinas; esto último puede ocurrir por dos caminos: 1) pasivo, donde el folículo más grande inhibe indirectamente el crecimiento de los folículos pequeños, por medio de una caída en la concentración de FSH; esto reduce el umbral necesario para mantener a los otros folículos; y 2) activo, donde el folículo más grande inhibe directamente el crecimiento de folículos pequeños, por la secreción de sustancias que reducen su sensibilidad a FSH. La evidencia existente sugiere que, más bien, una combinación de mecanismos activos y pasivos, puede operar en ganado bovino (Driancourt, 1991). La diferencia en el tamaño del folículo dominante y el resto, es mínima, al inicio de la selección; a esto último se le ha llamado, desviación de ondas foliculares individuales, que es el evento principal durante el proceso de selección, y en promedio, el futuro folículo dominante emerge a los 3 mm de diámetro. Cuando alcanza este diámetro, se encuentra en un estado decisivo. Presumiblemente, la duración de este estado es tan corto que el mecanismo de desviación es terminado antes del arribo del próximo folículo a un estado similar. El día promedio al inicio de la desviación en las tasas de crecimiento de los folículos más grandes, es el día 2.8, cuando el futuro folículo dominante es en promedio de 8.5 mm de diámetro y el folículo subordinado más grande, es de 7.2 mm (Ginther *et al.*, 1996).

La FSH es por definición la hormona folículo estimulante, no obstante, una asociación temporal entre una oleada de FSH y la emergencia de cada onda folicular, no ha sido demostrada completamente. Sin embargo, esta asociación ha sido observada en becerras de 6-8 meses de edad, durante la preñez temprana y en el periodo posparto. El pico de la oleada de FSH ocurre cerca del momento cuando el futuro folículo dominante de la onda folicular resultante, tiene un diámetro de 4 mm. La caída inicial en las concentraciones de FSH después del pico de la oleada de FSH, ocurre cuando el futuro folículo dominante y su más grande acompañante son aproximadamente de 6 mm de



diámetro. La enzima aromatasa está presente en estos folículos y niveles bajos de estradiol comienzan a aparecer también en folículos de 5-7 mm (Ginther *et al.*, 1996).

#### 3.4.2.1. NATURALEZA DEL MECANISMO DE SELECCIÓN

El folículo dominante continúa creciendo para prosperar en la ovulación, por medio de un cambio en la dependencia primaria de FSH, por LH. Si el folículo seleccionado suprime a FSH, el resultado es la pérdida de los folículos subordinados. Este aspecto del mecanismo de desviación, incluye la caída final de la oleada de FSH a niveles basales, que aseguren la pérdida de la FSH necesaria para los folículos subordinados y retarde el tiempo de llegada de la próxima onda folicular. El incremento de FSH, comenzando la siguiente oleada folicular, puede ser atribuido a la pérdida de los efectos de las sustancias inhibitorias provenientes del folículo dominante existente. Si se administra FSH exógena durante los dos días anteriores al proceso de selección, este proceso se retarda por 1.5 días, al mismo tiempo que se retarda la regresión de los folículos subordinados (Adams *et al.*, 1993). Los niveles de FSH permanecen bajos durante los próximos 3-4 días, hasta que ocurre el incremento asociado con la próxima oleada. Durante este tiempo los folículos subordinados que fueron privados de FSH serán incapaces de responder a la nueva oleada.

El segundo aspecto postulado del mecanismo de desviación, es un cambio en la dependencia de gonadotropina por el folículo dominante seleccionado, de manera que si este continua desarrollando, lo hace impulsado por la LH circulante, aun a niveles basales, sin considerar las fluctuaciones en la concentración promedio o la frecuencia de pulsos. Hay resultados que demuestran que las células de la granulosa, adquieren receptores a LH, en los días 2-4 después de la emergencia de la onda o de la ovulación (Xu *et al.*, 1995; Bodensteiner *et al.*, 1996). El tratamiento con análogos de GnRH, suprime la secreción pulsátil de LH y el folículo más grande no crece más que hasta 7-9 mm, indicando la necesidad de LH para el desarrollo posterior a la selección. Las vacas lactantes con balance negativo de energía, tienen una baja frecuencia en el pulso de LH y el diámetro del folículo más grande (8.7 mm) fue menor que en las vacas con un 100 % de consumo de energía (10.2 mm). Después del día 90 de la preñez, hay una reducción en el diámetro máximo del folículo más grande, de sucesivas ondas foliculares, y una reducción



en la frecuencia de los pulsos de LH, indicando una aparente relación temporal entre el diámetro máximo del folículo y las concentraciones de LH. El espacio de vida del folículo dominante puede ser alargado por el incremento en la frecuencia del pulso de LH, ello indica una relación funcional entre el folículo dominante y LH (Ginther *et al.*, 1996). La identidad de sustancias inhibitorias foliculares responsables de la caída en las concentraciones de FSH circulantes, y las sustancias potenciales facilitadoras involucradas en el cambio en la dependencia a LH, no han sido aclarados. Por otro lado, el folículo dominante produce estradiol y lo libera aproximadamente al mismo tiempo de la desviación, y a través de fases de crecimiento subsecuentes; así, el estradiol estará involucrado en ambos aspectos del mecanismo de desviación, considerando que en promedio el inicio de la selección ocurre el día 2.8, cuando el folículo tiene 8.5 mm de diámetro. Por lo tanto, el estradiol es un candidato que podría actuar en la caída final y sostenida de FSH, y en la facilitación intrafolicular de la dependencia de LH por el folículo dominante (Ginther *et al.*, 1997).

#### 3.4.2.2. ASPECTOS CELULARES DEL MECANISMO DE SELECCIÓN

Los andrógenos son producidos en las células tecales y estas células contienen RNAm. La provisión de suficiente andrógeno como sustrato, es esencial para la producción de estradiol. Sin embargo, durante la desviación folicular es probable que el límite en la tasa de producción de estradiol, lo establezca la enzima aromatasa. El complejo aromatasa RNAm manifiesta una actividad enzimática cuando los folículos en crecimiento alcanzan 4 mm y se dispara grandemente cuando dichos folículos alcanzan 8 mm de diámetro, momento que coincide con la desviación o selección folicular.

La esteroidogénesis folicular es regulada por el ligamiento de FSH y LH, por medio de receptores, y el rol del AMPc en esto, es muy importante. Particularmente importante en la desviación de los folículos, es la dramática inducción de receptores LH-RNAm y ligamiento de LH en las células de la granulosa y la teca del folículo dominante, entre los días 2-4, cuando este alcanza 8-9 mm de diámetro. Muchos aspectos de la diferenciación celular folicular son probablemente mediados por péptidos locales, como factores de crecimiento y sus proteínas de ligamiento, y por hormonas metabólicas sistémicas como la hormona del crecimiento y la insulina. Al momento de la selección del



folículo, el número de receptores a FSH en las células de la granulosa no cambian en el folículo dominante, pero el número de receptores a LH se incrementa. Así, el primer folículo que alcanza un estado decisivo, en el cual las células de la granulosa tienen receptores a LH, puede ser el folículo que viene a ser dominante.

La adquisición de receptores a LH puede ser importante por: 1) la estimulación de un abrupto incremento en la producción de estradiol, el cual suprimirá las concentraciones de FSH circulantes; y 2) el incremento de AMPc intracelular, el cual protege quizá al folículo seleccionado, de la reducción de FSH; el folículo subordinando será sujeto a dicha reducción intracelular de la estimulación FSH-AMPc, con lo cual se evita que alcance el estado decisivo. La producción folicular de estradiol durante la selección folicular, es dependiente de la expresión de la enzima aromatasa en las células de la granulosa y el sustrato andrógeno de las células tecaes (Ginther *et al.*, 1996).

### 3.4.3. DOMINANCIA

El folículo dominante causa regresión de los folículos subordinados y durante su fase de crecimiento, suprime la emergencia de la próxima onda folicular (Ko *et al.*, 1991). A la selección, el número excesivo de folículos reclutados es reducido por atresia, hasta alcanzar el número de ovulaciones típicas de la especie y de la raza. El folículo que sobrevive después de la selección, es llamado folículo dominante; de manera simultánea, el resto de folículos regresa. Ahora bien, la siguiente pregunta es obvia: ¿Cómo hace el folículo dominante para madurar en presencia de concentraciones de FSH que resultan insuficientes, no para él, sino para sostener el crecimiento del resto de folículos? Primero, se propone que existe una liberación y almacenaje preferencial de gonadotropinas para el folículo dominante; y segundo, debe haber una mayor sensibilidad de este folículo a las gonadotropinas. Las evidencias que apoyan la primera hipótesis son muy limitadas y los resultados de análisis en sangre no demuestran que haya incrementos asociados con la dominancia en la concentración de gonadotropinas.

El folículo dominante es marcadamente más sensible a FSH, que los folículos más pequeños. Esto puede estar relacionado con la secreción de factores autocrinos, los cuales amplifican la acción de FSH sobre las células del folículo dominante. Los



candidatos para una acción semejante, son los factores de crecimiento parecidos a insulina tipo 1 (IGF-1), factores de crecimiento de la epidermis (EGF) y factores de crecimiento fibroblásticos (FGF), los cuales están presentes en altas concentraciones en folículos grandes, mismos que a su vez, contienen altas concentraciones de estradiol, que promueven la producción de esos factores de crecimiento, que se unen a las células de la granulosa, lo que finalmente ocasiona el proceso de aromatización, que consiste en la estimulación de FSH sobre la diferenciación celular, aumento de la cantidad de receptores a LH y mantenimiento de la dominancia folicular (Driancourt, 1991; Adams *et al.*, 1992b; Lobb y Dorrington, 1992; Lucy, 2000).

La acción del fluido folicular bovino en la supresión del desarrollo folicular es un efecto directo y no mediado via la reducción de la concentración de FSH. Esta actividad no está relacionada con el contenido de inhibina del fluido folicular. Los patrones de concentración de estradiol y FSH en relación al tiempo de tratamiento de fluido folicular, sugieren que existe un efecto potenciado de proteínas diferentes a las contenidas en el fluido folicular o a los efectos de retroalimentación negativa del estradiol, sugiriendo finalmente, que el mecanismo de dominancia folicular no contempla una reducción selectiva en las concentraciones de FSH (Law *et al.*, 1992).

Los ovarios han sido examinados durante el periodo de dominancia, y no se han detectado nuevos folículos mayores de 5 mm de diámetro. Esto demuestra que durante la etapa de dominancia, el folículo dominante evita que otros folículos sean reclutados. Así, un folículo dominante es definido como el folículo más grande que es reclutado y seleccionado durante una onda folicular (Lucy *et al.*, 1992).

El estudio del fenómeno de dominancia, hace una distinción entre dominancia morfológica y dominancia funcional. El folículo más grande presente en ambos ovarios es definido como el folículo dominante morfológicamente. La dominancia funcional involucra dos aspectos: 1) la habilidad de un folículo dominante para inhibir el crecimiento de folículos pequeños; y 2) su habilidad para ovular bajo condiciones apropiadas, de lo contrario sufre regresión o atresia.



El folículo dominante de la onda final de un ciclo estral, es el folículo ovulatorio y así, es claro que, ambas dominancias, morfológica y funcional, corresponden al mismo folículo, que pudo resultar de una segunda o tercera onda de desarrollo folicular de un ciclo estral, ya que el folículo más grande de la primera onda, y de la segunda en animales con ciclos de tres ondas, es por definición morfológicamente dominante, pero no alcanzó a manifestar una dominancia funcional, debido a condiciones hormonales adversas, que ocasionaron su regresión, para permitir el arribo de otra onda folicular. Un folículo puede ser considerado dominante funcional si ovula en respuesta a la inyección de PGF $2\alpha$ ; si esto no ocurre, entonces se trata de un folículo dominante funcional mientras está creciendo; sin embargo, pierde esta dominancia si su crecimiento no es completo, y entonces se trata de un folículo dominante de una primera o segunda onda de crecimiento folicular (Fortune, 1993). El incremento en las concentraciones de FSH y reducción de estradiol indican la pérdida de dominancia funcional del folículo dominante de la primera onda (Rhodes *et al.*, 1995).

La alta concentración de progesterona reduce el tamaño del folículo dominante. Por esta razón, el diámetro del folículo de la primera onda folicular después de un ciclo, es mayor, ya que al inicio del nuevo ciclo, las concentraciones de progesterona son más bajas debido al periodo de vida del cuerpo lúteo más corto al inicio del ciclo que en subsecuentes ondas foliculares del mismo ciclo estral (Bergfelt *et al.*, 1991). Asimismo, las concentraciones altas de progesterona durante el crecimiento folicular, resultan en oleadas de FSH más tempranas que preceden la próxima onda folicular. Contrariamente, las concentraciones bajas de progesterona resultan en folículos dominantes que persisten por más tiempo, retardando la oleada de FSH y la emergencia de la próxima onda folicular (Adams *et al.*, 1992a).

La supresión de FSH durante la primera onda folicular, está asociada con la interrupción del crecimiento del folículo dominante. Al inducir luteólisis después de este tratamiento, el folículo dominante en algunos animales reinicia su crecimiento y ovula, y en otros, regresa y sufre atresia, iniciándose otra onda de desarrollo folicular. Esto hace evidente el rol de FSH durante la dominancia folicular y sugiere que el folículo dominante requiere de altas concentraciones de FSH (Turzillo y Fortune, 1993).



### 3.4.4. OVULACIÓN

La ovulación es el proceso en el que se da la ruptura del folículo y la liberación de un oocito maduro con capacidad para ser fertilizado. Los mecanismos bioquímicos involucrados en este importante evento, no están del todo claros; sin embargo, se sabe que la LH y la consecuente producción de hormonas esteroides, son la señal neuroendocrina de la ovulación (Karsch *et al.*, 1992), actuando sobre el folículo ovárico mediante la inducción de la síntesis de AMPc, y a través de la activación de la proteína cinasa dependiente de este compuesto. La ruptura folicular se ha explicado también como una consecuencia del aumento continuo en la presión intrafolicular. Otras teorías explican la ruptura por la acción de enzimas líticas sobre dicha estructura; una hipótesis planteada al respecto, sugiere que la ovulación es el resultado de un proceso proteolítico en cascada, parecido al que sucede en el curso de una inflamación. Los conocimientos actuales, alrededor de este fenómeno, nos llevan a proponer una teoría múltiple, la cual comprendería el aumento rápido de volumen en el folículo, provocado por la despolimerización de los glicosamino-glicanos del líquido folicular, induciendo cambios isquémicos y necrosis del estigma folicular, seguido por la digestión del tejido conectivo de esta región crítica y, finalmente, la ovulación sería provocada por la contracción del músculo liso perifolicular y ovárico (Rosales y Rosado, 1993).

### 3.4.5. ATRESIA

Los oocitos, presentes en los ovarios, están en forma de folículos primarios, secundarios y terciarios. Al nacimiento, la hembra cuenta con aproximadamente 150 000 folículos primordiales, de los cuales, solo unos 100 logran madurar, durante la vida productiva de una vaca, el resto degenera mediante un proceso conocido como atresia. Dicho proceso lleva implícitos una serie de cambios bioquímicos y morfológicos, por los que la mayoría de los oocitos no consiguen la maduración. Aunque la atresia es el destino de más del 99 % de los folículos bovinos, el mecanismo que conduce a esa degeneración folicular no está claro. Una posibilidad mencionada es que FSH puede estar implicada en esa muerte celular programada (Apoptosis). En los folículos mayores a 1 mm, los eventos que se suceden durante el proceso de atresia son los siguientes: 1) pérdida de la actividad aromatasa de las células de la granulosa, 2) aparición de gránulos picnóticos, que resultan de la fragmentación del ADN, 3) acumulación de proteínas de unión de los IGFs de bajo



peso molecular en el fluido folicular, 4) desaparición de las células en mitosis al interior de la granulosa, 5) desunión de los receptores a las gonadotropinas, 6) desaparición de las enzimas tecales implicadas en la esteroidogénesis, 7) reanudación de meiosis y apoptosis, y 8) llenado de la cavidad del antro (Gordon, 1996; Driancourt, 1999).

### 3.5. NÚMERO DE ONDAS FOLICULARES POR CICLO

El proceso de crecimiento y regresión de folículos antrales, que conduce al desarrollo del folículo preovulatorio, es conocido como dinámica folicular; durante un ciclo estral en ganado, ocurren de 1 a 4 ondas de crecimiento folicular, y el folículo preovulatorio se deriva de la última onda (Ginther *et al.*, 1989a; Lucy *et al.*, 1992; Garverick, 1997). El folículo dominante es definido como el folículo ovárico más grande, que es reclutado y seleccionado durante una onda folicular. El primer folículo dominante puede ovular si la regresión del cuerpo lúteo es producida por PGF2 $\alpha$  exógena, por el día 5-8 del ciclo. Sin embargo, en la mayoría de los ciclos, el primer folículo dominante regresa, iniciando una segunda onda folicular, que resulta en el desarrollo de un segundo folículo activo que es dominante. En un ciclo de dos ondas, la maduración del segundo folículo dominante coincide con la regresión espontánea del cuerpo lúteo y el folículo ovula después de la luteólisis. Los folículos dominantes de la segunda onda son más pequeños que los de la primera, cuando hay una tercera onda folicular durante un ciclo estral. El ganado que experimenta tres ondas de crecimiento folicular, tiene un ciclo estral más largo, porque el estro es diferido cuando el segundo folículo dominante falla en su ovulación, y un tercer folículo dominante requiere más tiempo para completar su desarrollo hasta la ovulación. La mayoría del ganado presenta de 2-3 ondas durante el ciclo estral; sin embargo, los ciclos estrales consisten de una a cuatro ondas de crecimiento folicular (Ginther, 1993; Garverick, 1997).

### 3.6. REGULACIÓN DE ONDAS DE DESARROLLO FOLICULAR

La cantidad necesaria de gonadotropinas para permitir la emergencia de ondas foliculares cada 7-9 días dentro de un ciclo estral, es de niveles basales, y el momento en que ocurra la luteólisis, determina si un ciclo estral tendrá 2 o 3 ondas de desarrollo folicular. En vaquillas con dos ondas de crecimiento y desarrollo folicular durante un ciclo estral, el primer folículo dominante es más grande, y la segunda onda empieza más tarde



en el ciclo, y tanto la fase luteal como el ciclo estral son más cortos. El crecimiento folicular puede llevarse a cabo con niveles basales de LH y FSH. Examinando la dinámica folicular a 70 días de preñez, se reportó que las ondas de desarrollo folicular y los folículos dominantes emergen regularmente cada 9-10 días. Para probar experimentalmente la hipótesis de que las ondas foliculares emergen regularmente bajo las condiciones de LH y FSH basales, se ha extendido la fase luteal por medio de la inserción de una esponja que contiene progesterona; la aplicación se lleva a cabo el día 14 del ciclo estral. Los animales control, tuvieron ciclos de longitud normal y los tratados del día 14 al 28, tuvieron ciclos extendidos. En 3 de 6 animales, 4 o 5 ondas de desarrollo folicular ocurrieron durante el ciclo extendido. A partir de la prolongación de la fase luteal, se incrementaron el número de ondas por ciclo en algunos animales, esto implica que las ondas ocurren, regularmente bajo condiciones de LH y FSH basales, y confirma que la longitud del ciclo y la fase luteal son factores importantes que influyen en el número de ondas por ciclo, aunque puede haber factores genéticos, ambientales, nutricionales, edad y número de parto, que pueden estar influyendo (Fortune, 1993).

Savio *et al.* (1993) reportaron que LH es necesaria para favorecer la continuidad del crecimiento folicular. El retorno del folículo dominante, que permite el desarrollo de una nueva onda folicular, parece estar determinado por la inhabilidad del folículo dominante para continuar creciendo y suprimir el crecimiento de otros folículos. La reducción en la disponibilidad de FSH parece contribuir al retorno de un folículo dominante. El concepto de que LH ejerce un efecto regulatorio sobre el desarrollo final del folículo, es apoyado por algunas observaciones fisiológicas. El desarrollo folicular durante el posparto temprano en ganado lechero, es caracterizado por el desarrollo de folículos menores o iguales a 8 mm de diámetro, hasta el desarrollo del primer folículo dominante posparto.

El retorno de folículos ováricos durante el ciclo estral en ganado bovino, es regulado por la concentración de progesterona en plasma, que actúa vía el efecto de retroalimentación negativa sobre la secreción de LH. La baja frecuencia de los pulsos de LH, característica de la fase luteal, no es suficiente para mantener el crecimiento y función del folículo dominante, con inadecuada secreción de andrógenos tecaes que limita la función de las células de la granulosa, necesaria para terminar el desarrollo folicular; por



esa razón, el folículo dominante deja de crecer y no puede suprimir el crecimiento de otros folículos y una nueva onda folicular de reclutamiento, selección y dominancia, se desarrolla. Contrariamente, al eliminar el efecto de progesterona, causando luteólisis, puede continuar el crecimiento y dominancia del folículo, debido al incremento en la disponibilidad de LH (Savio *et al.*, 1993).

Los folículos crecen continuamente a lo largo del ciclo estral en bovinos hasta la ovulación, y dicho crecimiento y desarrollo folicular, ocurren en un patrón de ondas foliculares. Los últimos estudios, utilizando ultrasonografía transrectal, han confirmado lo anterior y mostrado que hay 2-3 ondas de desarrollo folicular durante el ciclo estral en el ganado bovino. Cada onda de desarrollo folicular, es caracterizada por el crecimiento simultáneo de 5-7 folículos antrales a partir de los folículos en crecimiento mayores de 5 mm de diámetro (reclutamiento folicular); uno de esos folículos comienza a crecer rápidamente (selección folicular) en tanto que el resto de los folículos reclutados regresan. El folículo seleccionado continúa creciendo hasta alcanzar un diámetro de 15 mm (dominancia) y permanece en su máximo tamaño por 2-3 días antes de sufrir regresión, y una nueva onda de desarrollo folicular comienza entonces. Si la fase de crecimiento en estado de dominancia coincide con luteólisis, el folículo sufre una rápida maduración preovulatoria y eventualmente ovula. Este patrón de ondas foliculares es una característica intrínseca en ganado, que ocurre también durante el periodo posparto y durante la preñez temprana (Gong y Webb, 1996).

La condición de anestro es la consecuencia de una serie de fallas para ovular de los folículos dominantes, debido a una reducción en la concentración de LH, con lo cual, no hay un estímulo normal para que las células de la granulosa produzcan estrógenos y se desencadene el comportamiento de estro. Cuando esto no ocurre, el folículo pierde dominancia y una nueva onda emerge a intervalos de 8-10 días. Las altas dosis de estradiol, administradas en programas de sincronización, han producido cambios en los patrones de desarrollo folicular, especialmente durante el periodo de crecimiento folicular. Una nueva onda folicular comenzará de 4 a 5 días después de dicha administración de estrógenos (Mac Millan y Burcke, 1996).



### 3.7. PRIMER CICLO OVÁRICO POSPARTO

La longitud promedio del primer ciclo ovárico posparto fue de  $22.2 \pm 8.7$  días, con rango de 9-36 días. De estos ciclos, el 28 % (5), fueron normales (18-24 días), el 28 % (5) fueron cortos (9-13 días), y el 44 % (8) fueron largos (más de 25 días). La longitud promedio y rango de variación de los diferentes tipos de ciclos ováricos fueron: cortos, de  $11.2 \pm 1.8$  días (rango de 9-13); normales,  $20.6 \pm 2.2$  (rango de 18-24 días); y largos,  $30.0 \pm 4.5$  días (rango de 25-36 días). La detección de un folículo dominante antes o sobre el día 9 después del parto, mismo que subsecuentemente ovuló, resultó en ciclos ováricos que fueron clasificados como normales o largos. Cuando el folículo dominante ovulatorio fue detectado entre los días 10 y 19, el resultante ciclo ovárico fue principalmente largo, sin embargo, cuando el folículo ovulatorio dominante fue detectado después del día 20 posparto, el ciclo ovárico resultante fue consistentemente corto.

En el primer ciclo ovárico posparto, solo un folículo dominante fue detectado en vacas que manifestaron su primer ciclo ovárico corto. Consecuentemente, en todos los ciclos ováricos cortos el primer folículo dominante fue el único ovulatorio. En las vacas con ciclos ováricos normales, la mayoría tuvieron dos folículos dominantes, y algunas vacas tuvieron tres (20 %). De las vacas que tuvieron ciclos ováricos largos, 37.5% tuvieron dos folículos dominantes, 50%, 3 y 12.5 %, 4 folículos dominantes, durante el ciclo (Savio *et al.*, 1990 b).

### 3.8. CICLO ESTRAL CON DOS FOLÍCULOS DOMINANTES

La longitud promedio de los ciclos con dos folículos dominantes es de  $22.2 \pm 2.6$  días, los cuales no son diferentes de los ciclos con tres folículos dominantes. Los patrones de crecimiento y regresión del folículo dominante durante cada ciclo son algo diferentes: el primer folículo dominante es identificado por el día 3 (rango de 2-5 días), alcanza su talla máxima por el día 8 (rango de 6-12 días) y, después de un periodo de estabilidad en su talla, entre los días 8-15, comienza a reducir en tamaño y es raramente detectable después del día 19 (rango de 16-25 días). El segundo folículo dominante (ovulatorio) es identificado por el día 16 (rango de 10-25 días), y después de un periodo de crecimiento, generalmente no continuo, alcanza su tamaño máximo, en la mayoría de los ciclos, el día del estro (Savio *et al.*, 1990 b).



### 3.9. CICLO ESTRAL CON TRES FOLÍCULOS DOMINANTES

La longitud promedio de los ciclos con 3 folículos dominantes es de  $24.0 \pm 1.2$  días (rango de 23-26 días). Los patrones de crecimiento y regresión de los folículos dominantes durante cada ciclo estral son algo diferentes. El primer folículo dominante es inicialmente identificado cerca del día 4 (rango de 1-6), aparece en su máxima talla por el día 8 (rango de 6-11 días) y es observado hasta el día 19 (rango de 15-24). El periodo entre el día de la detección inicial y el día de máxima talla fue caracterizado por un incremento constante en tamaño entre exámenes sucesivos. Desde el día de máximo tamaño hasta el día 14, el diámetro promedio ya no varió; no obstante, cuando los patrones de desarrollo fueron evaluados en vacas individuales, algún crecimiento secundario puede ser observado alrededor de los días 9, 10 u 11. A partir del día 15, el diámetro consistentemente se redujo hasta que este no fue detectable al día 19 en promedio.

El segundo folículo dominante es identificado por el día 14 (rango 11-16), alcanza su diámetro máximo por el día 18 (rango 15-21) y reduce su tamaño en sucesivas observaciones hasta el día 22 (rango 20-25). El periodo de regresión del segundo folículo dominante se inició inmediatamente después de alcanzar su tamaño máximo en algunos casos, o después de un corto periodo de estabilidad de 2-3 días, en otros casos. El tercer folículo dominante (ovulatorio) es observado a partir del día 19 (rango de 18-21 días) y después de un periodo de crecimiento sostenido alcanza su diámetro máximo, generalmente el día del estro. El primer folículo dominante tiene una mayor duración de detección y duración de su atresia, así como una menor tasa de atresia, comparado con el segundo folículo dominante (Savio *et al.*, 1990b).

## 4. ULTRASONOGRAFIA Y ACTIVIDAD OVÁRICA

### 4.1. JUSTIFICACIÓN DE SU USO

El conjunto de instrumentos de ultrasonografía, que producen imágenes reales de las estructuras ováricas en el ganado, y que están ahora disponibles en el mercado, hacen posible determinar el crecimiento folicular con mayor precisión que los métodos convencionales de palpación rectal. Además, es posible conocer el momento del ciclo



estral en que se encuentra cada animal y de ser necesario, se puede conocer con cierta precisión, el momento de la ovulación y la hora más oportuna del servicio de inseminación artificial (Boland *et al.*, 1990).

#### **4.2. OPERACIÓN DEL EQUIPO Y USOS POTENCIALES**

Los animales pueden ser escaneados las veces que sea necesario por día o por semana, dependiendo de los objetivos de la investigación. Generalmente se usa un equipo de ultrasonido y un transductor rectal de 5 o 7 Mhz. Los ovarios pueden ser escaneados en diferentes planos de su estructura, para identificar folículos, cuerpos lúteos, quistes y otras estructuras que nos indiquen la actividad reproductiva de las vacas. El límite de resolución de los equipos de ultrasonido es de 2 mm y la imagen puede ser congelada para medir la estructura que es de interés, usando un sistema de calibración (Rajamahendran y Taylor, 1990). Además, el equipo de ultrasonografía puede ser utilizado para llevar a cabo otro tipo de actividades en el ganado, como pueden ser: diagnóstico de preñez temprano (25 d), determinación del sexo, condición del útero posparto, patología de úteros preñados y no preñados, y de ovarios para trabajos *in vitro* (Kahn, 1992).

#### **4.3. ECOGRAFÍA DE LA ACTIVIDAD OVÁRICA POSPARTO**

El reinicio temprano de la actividad ovárica en vacas posparto es necesario para lograr intervalos parto-primer servicio y parto-concepción más cortos. Después de la regresión del cuerpo lúteo de la preñez, hay un periodo anovulatorio variable, antes de la primera ovulación. La longitud de ese periodo puede ser afectado por el nivel de nutrición, la condición corporal, la involución uterina, el amamantamiento o la lactancia, los problemas de salud, distocias, raza, edad, número de parto, patología intrauterina (metritis), y ciclo estral corto; todos estos factores, y algunos otros, ejercen una influencia decisiva sobre el anestro posparto y sobre la infertilidad del ganado lechero durante las primeras semanas después del parto (Boland *et al.*, 1990; Short *et al.*, 1990; Kindahl *et al.*, 1992; El-Din *et al.*, 1995).

La razón principal porqué el patrón de desarrollo folicular en el periodo posparto temprano, no es entendido totalmente, es la dificultad para seguir los cambios diariamente en el crecimiento y regresión de folículos ováricos de manera precisa. Sin embargo, el



desarrollo de técnicas de ultrasonografía, hacen posible medir folículos individualmente y seguir su patrón secuencial de desarrollo y regresión (Savio *et al.*, 1990a). El examen de ultrasonido puede llevarse a cabo en pocos minutos en cada vaca y se pueden revisar estructuras ováricas como: folículos, cuerpo lúteo y quistes foliculares y luteales, principalmente (Edmondson *et al.*, 1986). Los folículos producen una imagen fácilmente identificable y no resonante. Todos los folículos mayores de 2 mm de diámetro, pueden ser observados: usualmente aparecen cilíndricos y negros, pero la línea exterior de un folículo grande y su resonancia pueden ser cambiados o modificados por la alteración del ángulo de incidencia del escáner. Igualmente, la imagen de un folículo puede ser modificada por la alteración de la presión del transductor sobre el ovario.

El fenómeno de transmisión produce un área de eco distal del folículo, con una acentuación de la pared de atrás. El tamaño folicular al estro tiene un rango de 9-23 mm. En vacas tratadas con PGF2 $\alpha$ , se pueden ver folículos de alrededor de 7 mm de diámetro en el ovario contralateral a donde está el cuerpo lúteo. Dicho folículo crece 3 mm por día y ovula cuando tiene unos 19 mm, aproximadamente 96 horas después de la inyección de PGF2 $\alpha$ . El cuerpo lúteo puede ser visto 4 días después de la ovulación. Las características visibles del cuerpo lúteo no cambian a través de la fase luteal del ciclo, y la apariencia es la de una estructura resonante, usualmente con bordes de pared definidos, diferenciados frente al estroma ovárico. El tamaño de un cuerpo lúteo va de 10 a 24 mm, con un tamaño máximo que puede ser alcanzado alrededor del día 12 del ciclo en vacas no preñadas. En animales con una preñez temprana, el cuerpo lúteo va de 16 a 26 mm de diámetro, y su apariencia es similar al cuerpo lúteo de un ciclo. Como en el caso de los folículos, la forma y brillantez de la imagen del cuerpo lúteo puede ser cambiado con el ángulo de escaneo. Una área central llena el fluido, indica la presencia de un cuerpo lúteo quístico.

La ultrasonografía de quistes ováricos grandes, de 25 a 55 mm, muestra áreas no resonantes que fueron, o un simple folículo grande de forma variable con paredes muy delgadas, o un grupo múltiple de grandes folículos. En vacas con quistes, tratadas con GnRH, la pared del quiste aumenta en 2-6 mm su densidad en un periodo de 2 semanas. Los quistes luteales son palpados como un ovario rodeado de caucho; con ultrasonido aparecen como una área no resonante rodeada por otra área resonante de densidad



variable de 2-5 mm (Edmondson *et al.*, 1986). El endometrio es claramente observado como una estructura brillante y el lumen del útero aparece como una estructura oscura, debido al contenido de fluidos; todo esto sucede en úteros no preñados en el periodo periovulatorio; durante el diestro, el endometrio puede ser distinguido por ser aún más brillante (Fissore *et al.*, 1986).

#### 4.4. DINÁMICA FOLICULAR OVÁRICA Y ULTRASONOGRAFÍA

El estudio del desarrollo folicular ovárico es uno de los cambios más recientes en el campo de la fisiología reproductiva. La complejidad de estos procesos deriva parcialmente de la enorme selectividad que existe en los mamíferos, menos del 1 % de los folículos presentes en el ovario completan su maduración final y ovulan, en tanto que el 99% de ellos sufren atresia. Las técnicas utilizadas para caracterizar los patrones de desarrollo folicular en ganado, incluye evaluaciones histológicas de ovarios colectados después del sacrificio, ovariectomía, laparotomía, laparoscopia, marcaje de folículos con sustancias que tiñen parte de ellos y palpación rectal. Aunque estos estudios proveen información importante, ninguno es lo suficientemente preciso para desarrollar programas de mejoramiento de los indicadores reproductivos del ganado, como pueden ser el periodo abierto y el intervalo entre partos.

Al inicio de los años 80's, el desarrollo de transductores intrarrectales, acoplados con el advenimiento de la imagen de ultrasonido, han abierto nuevas fronteras en el gran campo de la reproducción animal y han aportado un nuevo acercamiento para estudiar la función ovárica en ganado. La ultrasonografía permite la visualización de estructuras dentro del ovario sin ninguna interrupción de los eventos fisiológicos normales, como el ciclo estral y la preñez, pero lo más importante es determinar la localización de folículos dentro de cada ovario y hacer posible la caracterización de los patrones de crecimiento y regresión de folículos individuales en cada animal (Sirois y Fortune, 1990). No es claro cuándo el retorno de folículos ováricos durante el ciclo estral en ganado es continuo e independiente de la fase del ciclo, o cuándo las ondas de crecimiento folicular ocurren en momentos específicos del ciclo. Para aclarar esta controversia, el patrón de crecimiento y regresión de folículos ováricos ha sido caracterizado durante un ciclo estral completo por medio de exámenes de ultrasonografía. Los folículos mayores o iguales a 5



mm de diámetro son medidos y se determina su posición relativa en el ovario para seguir su desarrollo secuencial a lo largo del ciclo estral.

Los resultados indican la presencia de 2, 3 ó 4 ondas de crecimiento folicular por ciclo. Cada onda se caracteriza por el desarrollo de un folículo grande (dominante) y un número variable de pequeños folículos (subordinados). En el patrón más común que se ha observado, el de tres ondas por ciclo, la primera, segunda y tercera onda aparecen por los días 1.9, 9.4 y 16.1, respectivamente, en relación a la duración del ciclo. El folículo dominante de la tercera onda es el folículo ovulatorio. El tamaño máximo y la tasa de crecimiento del folículo dominante de la segunda onda es significativamente más pequeño que el de las otras ondas, pero no se observan diferencias significativas entre los folículos dominantes de la primera y tercera onda. Para los animales con dos ondas, las ondas aparecen los días 2 y 11 del ciclo, en tanto que, para los de 4 ondas, aparecen los días 2, 8, 14 y 17 respectivamente. A los días 0, 1, 2, 3, y 4 antes del estro, el folículo ovulatorio es el más grande en los ovarios en el 100, 95, 74, 35 y 25% de las fases foliculares. El tamaño relativo del folículo preovulatorio a la luteólisis, está correlacionado negativamente con el intervalo de tiempo entre el final de la luteólisis y la oleada de hormona luteinizante (LH), sugiriendo que la longitud del proestro es determinada por el tamaño del folículo preovulatorio al inicio del proestro (Sirois y Fortune, 1988). El estudio que estos autores llevaron a cabo es uno de los primeros trabajos donde se obtuvo una descripción completa de la dinámica folicular ovárica durante el ciclo estral bovino, basada en ultrasonografía, haciendo un análisis del desarrollo y regresión de folículos en forma individual. Este estudio indica que es factible y práctico el rastreo por ultrasonografía del desarrollo de folículos individuales de 5 mm de diámetro a través del ciclo estral en bovinos.

Las características de la onda folicular ovulatoria y no ovulatoria en ciclos con dos ondas, han sido estudiadas en vaquillas Holstein. Las ondas son detectadas retrospectivamente como un grupo de 4-6 folículos el día de la regresión, tomado como día 0, en ondas no ovulatorias y el día 10 para ondas ovulatorias. Para cada onda, los folículos que llegaron a ser dominantes, comparados con los subordinados, no son diferentes en el diámetro durante el primer día de la onda folicular, pero el folículo dominante es significativamente más grande que los subordinados en los siguientes días.



En promedio, los folículos subordinados cesan su crecimiento 4.4 días después del origen de la onda folicular. El folículo dominante de la onda no ovulatoria crece linealmente a una tasa de 1.8 mm por día hasta llegar, en promedio, a 15.8 mm, y permanece estático durante unos 6 días en promedio y entonces regresa linealmente a una tasa de -1.0 mm por día. Aquí, el folículo dominante ovulatorio crece linealmente a una tasa menor que el dominante no ovulatorio, con 1.2 mm por día; el diámetro del folículo ovulatorio antes de la ovulación (16.2 mm) no es diferente del diámetro del folículo no ovulatorio durante la fase estática. El número de folículos en crecimiento, estáticos y regresando, de 4 a 6 mm de diámetro, no es diferente entre ondas ovulatorias y no ovulatorias.

El 95% de los folículos identificados en crecimiento son asignables a una onda y cada onda emerge durante un periodo de tiempo consistente y estrecho (la onda no ovulatoria los días -1, 0 ó 1; y la onda ovulatoria, los días 8, 9, 10 u 11). Por lo que se ha visto hasta el momento, la formación de ondas es un fenómeno muy bien controlado. Hay una relación temporal consistente entre la emergencia de una onda ovulatoria y la regresión del folículo dominante de una onda anovulatoria (la longitud del intervalo desde el inicio de una onda ovulatoria, al inicio de la regresión de folículo anovulatorio, es aproximadamente de 3 días). Es posible que el mecanismo que causa la regresión del folículo subordinado de la onda ovulatoria también causa la regresión del folículo grande, estático y dominante de la onda anovulatoria (Ginther *et al.*, 1989b).

El examen de ultrasonido durante el período del día 5 al 15 posparto en vacas Holstein en lactancia, se dificulta debido a la anatomía del útero durante la involución. Sin embargo, el desarrollo folicular ovárico durante el periodo posparto temprano se caracteriza por el crecimiento y regresión de folículos pequeños de menos de 8 mm de diámetro, hasta la detección del primer folículo dominante posparto (Savio *et al.*, 1990a). Estos autores encontraron un intervalo a la detección del primer folículo dominante, de  $11.6 \pm 8.9$  días, con rango de 5-30 días, y la primera ovulación ocurrió a los  $27.4 \pm 23$  días, con rango de 9 a 85 días. El intervalo a la detección del primer folículo dominante es significativamente más corto en vacas paridas en otoño que para las de primavera (6.8 vs 20 días, respectivamente). Sin embargo, el intervalo parto-primer ovulación fue similar en vacas paridas en primavera y en otoño (27.3 vs 27.4 días), aunque las vacas que parieron



en otoño fueron separadas, de acuerdo al tipo de folículo, en vacas normales o vacas quísticas; las que desarrollaron un quiste tuvieron un mayor intervalo a la primera ovulación que aquellas de condición normal (58.2 vs 12.0 días, respectivamente). Considerando solo vacas normales, las paridas en otoño tendieron a manifestar intervalos más cortos y menos variables, del parto a la primera ovulación, que las paridas en primavera (12 vs 27.3 días, respectivamente).

Una observación muy importante es que más del 90% de vacas que desarrollan su primer folículo en condiciones normales, no manifiestan signos visibles del estro, aunque su ovulación puede ser detectada por ultrasonografía (Savio *et al.*, 1990a).

## **5. FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO EN GANADO LECHERO**

### **5.1. DETECCIÓN DE ESTROS**

Las gonadotropinas inducen durante el proestro la maduración final del folículo, resultando en un incremento en la secreción de estradiol. El estradiol, en ausencia de progesterona, actúa sobre el hipotálamo para inducir el comportamiento de estro. La duración media del estro es de 12-16 horas, con rango de 3-28; durante este tiempo los efectos del estradiol parecen ser de todo o nada, es decir, una vez establecido el umbral en los niveles de estradiol, el estro es inducido y los aportes adicionales de estradiol después de ese umbral no mejoran la respuesta del estro en intensidad y duración (Allrich, 1994).

La progesterona puede bloquear la acción del estradiol para inducir el estro. En vacas lecheras, la primera ovulación posparto puede ocurrir de manera silenciosa, es decir, la ovulación no es precedida por el comportamiento de estro. En el caso de vacas posparto, el cuerpo lúteo formado después de la primera ovulación provee la progesterona que retroalimenta la acción cerebral. Como consecuencia, la segunda ovulación posparto es precedida por el comportamiento de estro (Allrich, 1994).



### 5.1.1. EL PROBLEMA DE LA DETECCIÓN DE ESTROS

El más importante de los problemas que limitan una alta eficiencia reproductiva, es la pobre detección de estros. Las técnicas que proveen la solución para el problema de la detección de calores incluyen: continua vigilancia de la vaca; identificación precisa de cada vaca en estro, que opere durante toda su vida productiva y reduzca la necesidad de mano de obra; alta precisión para detectar los eventos fisiológicos y de comportamiento correlacionados con la ovulación; además de las nuevas tecnologías automatizadas para detectar estros con tecnología electrónica, entre las que pueden mencionarse: podometría, sensores implantables y otros que están en desarrollo (Senger, 1994).

Los métodos para estimar la eficiencia y precisión en la detección de estros son confusos, sin embargo, es reconocido que la eficiencia es menor o igual al 50% en la mayoría de los hatos. Además, las investigaciones usando leche o sangre para analizar progesterona indican que entre 5 y 30 % de las inseminaciones ocurren en vacas que no están en estro. A medida que aumenta el tamaño del hato, el problema de la pobre detección de estros se puede incrementar, debido a que la vigilancia por vaca disminuye; esto crea la urgente necesidad de desarrollar y aplicar nuevas tecnologías para automatizar la identificación de vacas en estro, y así eliminar la necesidad de la detección visual (Arthur *et al.*, 1991).

### 5.1.2. SISTEMAS PARA LA DETECCIÓN DE ESTROS

Los requerimientos de un sistema ideal para detectar estros, es algo que no está completamente definido. Sin embargo, los estros no detectados o su falsa detección, resultan en inseminaciones fuera de tiempo, lo que implica que el potencial de producción de leche no sea explotado completamente, se tenga un gasto excesivo en la compra de reemplazo, y se reduzca la tasa de progreso genético. Lo anterior demanda mayor eficacia en la detección visual de calores, así como estimular el desarrollo de investigaciones para mejorar las ayudas en la detección oportuna de vacas en celo, y determinar el tiempo más apropiado para su servicio (Lehrer *et al.*, 1992).

Entre los métodos más comunes se encuentran los no automatizados. Este grupo comprende una serie de indicadores visuales de comportamiento sexual que



incluye: 1) detectores de monta localizados sobre la grupa del animal; 2) animales detectores de celo, incluyendo machos, hembras androgenizadas con o sin dispositivos marcadores, y la utilización de perros entrenados para la determinación de vacas en celo a través de olores; y 3) registro continuo del hato por medio de video. Su eficiencia varía entre 56 y 94 %, mayor a la encontrada con la detección de calores en forma visual. Sin embargo, su precisión es de solo el 50 %, menor a lo alcanzado mediante observación visual. Un segundo grupo comprende los siguientes métodos automatizados: 1) monitoreo de la actividad de monta por medio de podómetros; 2) determinación de la conductividad eléctrica del moco cervical; y 3) medición de la temperatura vaginal (Lehrer *et al.*, 1992). El tipo de superficie de los corrales afecta la actividad de monta del ganado lechero. En este sentido, los animales prefieren desarrollar su actividad de monta en lugares con piso de tierra, más que en superficies de concreto. Sin embargo, la tasa de detección de calores puede incrementarse si las vacas alojadas en corrales con piso de concreto, son movidas a una superficie de tierra para llevar a cabo la detección de calores (Dozier y Britt, 1990).

#### 5.1.2.1. OBSERVACIÓN DIARIA

La observación diaria generalmente se lleva a cabo en la mañana y en la tarde, con tiempos de duración variables. Este método es el llamado AM-PM, debido a que las vacas detectadas en celo un día por la mañana, son inseminadas por la tarde, y las vacas detectadas en celo durante la tarde de ese día, son inseminadas al día siguiente por la mañana; en ambos casos, la inseminación se recomienda aproximadamente a las 12 h después de la detección del estro. Sin embargo, es recomendable que las observaciones se realicen, cuando sea posible, durante todo el día, y que cada periodo de observación sea por lo menos de 30 minutos; lo anterior obedece a que no todas las vacas manifiestan la misma actividad de monta durante el estro (Gordon, 1996).

#### 5.1.2.2. PINTURA EN LA BASE DE LA COLA

El uso de pinturas aplicadas en la base de la cola, es un método barato y efectivo en la detección de calores, debido a que una vaca en celo, será montada por otras vacas, dejando una marca visible en el punto que más a menudo es presionado por el pecho de la vaca que monta; dicho método parece ser más efectivo que las simples variaciones de comportamiento, ya que se han reportado tasas de detección que van del



94 al 99 %. La técnica consiste en aplicar una línea de pintura de 20 cm de largo y 5 cm de ancho en el pelo, a lo largo del dorso y detrás de las tuberosidades isquiáticas (Smith y McMillan, 1980).

#### 5.1.2.3. KAMAR

El Kamar es un dispositivo con una cápsula de plástico que contiene un colorante rojo, el cual es colocado en la grupa del animal, inmediatamente por delante de la base de la cola. Cuando el animal en estro se deja montar, la presión ejercida sobre la cápsula, provoca la liberación del colorante, facilitando con ello la detección del animal en estro. Sin embargo, pueden existir falsos positivos, cuando los animales se mantienen hacinados o cuando alguna barrera presiona la grupa; por esta razón, los Kamars deben utilizarse de manera simultánea con la detección visual. No obstante, la eficiencia del método puede ser de un 98 % (Arthur *et al.*, 1991), aunque se ha reportado un alto índice de pérdida de los dispositivos de este tipo (Gordon, 1996).

#### 5.1.2.4. HEAT WATCH

El Heat Watch es un dispositivo por medio del cual se pueden medir las características individuales de cada estro, como el tiempo y la duración de cada monta; la duración total del estro es el intervalo desde la primera hasta la última monta registrada. La precisión en la detección de calores alcanzada por este método es del 96 %, y la eficiencia en su detección, del 90 %. Los resultados anteriores indican que este método puede utilizarse para mejorar la detección visual de calores. Los componentes del sistema son: batería, transmisor de frecuencia, receptor de señal, y procesador de la información. HEAT WATCH es una alternativa viable en la detección de calores, que requiere sólo el 50 % de mano de obra, comparado con el tradicional método de detección visual (Albright y Arave, 1997).

#### 5.1.2.5. USO DE ANIMALES

##### **Hembras freemartin androgenizadas**

La androgenización de hembras freemartin se lleva a cabo mediante inyecciones diarias de 2 g de propionato de testosterona durante 20 días; la actividad sexual puede ser mantenida mediante la aplicación de 0.5 a 1 g de enantato de

testosterona, vía intramuscular o subcutánea cada 2 semanas, lo que implica un manejo excesivo del animal, y un incremento en los costos por mano de obra (Mortimer *et al.*, 1990). El índice de detección de calores por este método es muy variable; se han reportado valores de 23 a 74 %, lo que es, sin duda, muy inferior a los resultados obtenidos por observación visual (Gordon, 1996).

#### **Machos castrados androgenizados**

El tratamiento consiste en la aplicación semanal de 8 mg de estradiol conjugado, por cada 250 kg de peso. El desarrollo del comportamiento de macho se manifiesta a las 2-3 semanas del tratamiento, y el índice de respuesta es alto y consistente. Este tipo de animales no llevan a cabo la penetración, con lo que no hay problema de transmisión de enfermedades venéreas. Estos animales generalmente tienen acceso a la dieta de las vacas en producción, por lo que engordan rápidamente, lo que implica su reposición frecuente (Gordon, 1996).

#### **Perros entrenados**

Los perros entrenados desarrollan la capacidad de discriminar entre los olores característicos de muestras tomadas el día del estro  $\pm 1$  día; sin embargo, las investigaciones llevadas a cabo indican que estos animales son capaces de detectar el olor distintivo del fluido del tracto reproductivo de las vacas en celo, durante un lapso mayor de tiempo; en este sentido, sugieren que los perros detectan el olor característico del celo, 3 días antes del estro, se alcanza un pico de detección el día del estro, y desaparece un día después (Kiddy y Mitchell, 1981).

#### **5.1.2.6. TEMPERATURA CORPORAL Y EN LECHE**

El incremento en la temperatura corporal está asociado con el estro en ganado lechero; sin embargo, los cambios biológicos que ocurren alrededor de la ovulación, y que no son conocidos totalmente, pueden proveer información sobre la ocurrencia de este evento. En este sentido, la relación entre la oleada de LH y el aumento de la temperatura del cuerpo, es tal que, dicho incremento puede ser considerado para predecir la oleada de LH, tanto o más que la caída en los niveles de progesterona o el aumento en los niveles de estradiol (Clapper *et al.*, 1990). Asimismo, el intervalo entre el inicio del incremento de



la temperatura y el momento de la ovulación, es tan consistente como el intervalo entre el pico de LH y la ovulación; por esta razón, el monitoreo de los cambios en la temperatura corporal, puede ser una herramienta que ayude a predecir la ovulación en los bovinos (Mosher *et al.*, 1990).

La temperatura intravaginal aumenta de 0.3-1.1 °C alrededor del estro y 12-21 h antes de la ovulación. Asimismo, la temperatura registrada en la leche se incrementa 0.2-0.4 °C en el 35-74 % de los estros registrados, con un 50 % de eficiencia y 55 % de precisión, lo que no hace confiable, por si solo, este método de detección de calores (Lehrer *et al.*, 1992). Por otro lado, la medición de la temperatura en leche puede ser empleada para detectar vacas que manifestarán estro silencioso; en este sentido, Gil *et al.* (1997) encontraron que en el 78.9 % de las vacas en estro silencioso, se registra un incremento de  $0.6 \pm 0.07$  °C, en la temperatura de la leche, con una correlación de 0.90 entre estos dos eventos.

#### 5.1.2.7. PODÓMETROS

El incremento en la actividad física de las vacas en estro, es la señal registrada por medio de un dispositivo llamado podómetro (Liu y Spahr, 1993). La eficiencia en la detección de estros con podómetros, es del 60 al 100 %, y la precisión, del 22 al 100 %; sin embargo, su mayor desventaja es el costo, ya que requiere de frecuente recambio para un buen funcionamiento. Los bajos niveles de respuesta son atribuidos a limitaciones técnicas de los podómetros, a un manejo inadecuado y a las condiciones ambientales, ya que bajo óptimas condiciones, los podómetros han dado como resultado, 91 % de eficiencia y 92 % de precisión en la detección de estros (Lehrer *et al.*, 1992; Senger, 1994). La tecnología actual ha mejorado grandemente, y las versiones más actuales constan de lo siguiente: registro de la actividad y almacenamiento de la información; sistema de alarma, que consiste en un rayo luminoso que alerta al personal encargado del manejo del ganado; dispositivo que compara la actividad previa con la actividad actual; contadores y registros de información que pueden ser consultados a control remoto utilizando una antena o un lector electromagnético, el cual debe ser colocado estratégicamente en el establo (Senger, 1994).

#### 5.1.2.8. RESISTENCIA ELÉCTRICA INTRAVAGINAL

Uno de los signos clásicos del estro en la vaca, es la hinchazón de la vulva, como resultado de cambios en la hidratación del tejido genital, lo que a su vez ocasiona cambios en la resistencia eléctrica intravaginal (REI) de los tejidos y las secreciones del tracto reproductivo. Dicha hidratación está relacionada inversamente con la REI de los tejidos, lo cual constituye la base biológica de este método de detección de calores. Los fluidos vaginales ofrecen una mayor REI durante el diestro, y dicha REI va disminuyendo a medida que se acerca el estro, en la fase folicular del ciclo estral. Lo anterior se debe a los cambios en la densidad celular, volumen del fluido, y contenido de electrolitos del tejido vulvar bovino durante el estro. Esto último ha sido aprovechado para el diseño de instrumentos comerciales que registran dichos cambios, entre ellos se puede mencionar el OVATEC. Sin embargo, la gran variación entre vacas y dentro de cada vaca, debido a una alta incidencia de animales falso-positivo y falso-negativo, ha limitado grandemente su uso (Senger, 1994).

La medición de cambios en la REI, se ha usado de manera satisfactoria para determinar el mejor tiempo para la inseminación, y mejorar así la tasa de concepción, con una eficiencia en la detección de vacas en celo de 65 a 82 % y una precisión de 57 a 82 %. No obstante, con estos resultados, la REI no tiene gran aplicación práctica, por lo que se han diseñado electrodos que son implantados en el tejido vulvar; con estos dispositivos, la eficiencia y precisión para detectar estros fue de 91 y 80 %, respectivamente (Lehrer *et al.*, 1992).

#### 5.1.2.9. TELEVISIÓN EN CIRCUITO CERRADO Y CÁMARA DE VIDEO

Los sistemas de televisión en circuito cerrado (TCC) son baratos y están disponibles como ayuda en el control de vacas durante el parto; el mismo equipo se puede utilizar para controlar la actividad sexual del estro. El método tiene poco uso cuando los animales se encuentran en el campo, pero cuando se encuentran estabulados, será de gran ayuda. El uso del sistema TCC es de mayor utilidad en las horas nocturnas (22:00-6:00 h) cuando se espera mayor actividad de monta, y no se cuenta con suficiente personal de apoyo en la detección de calores. Cuando es posible la grabación nocturna, a



la mañana siguiente es posible revisar la cinta de video, para determinar que animales han manifestado actividad de monta (Gordon, 1996).

### 5.1.3. EFICIENCIA Y PRECISIÓN EN LA DETECCIÓN DE CALORES

La habilidad en la detección de calores, influye directamente en el comportamiento reproductivo y la rentabilidad de los hatos lecheros. La eficiencia en la detección es expresada como un porcentaje de los estros posibles, que fueron observados durante un periodo de tiempo, y puede ser estimada a partir de ecuaciones, que calculan los parámetros reproductivos más comunes en ganado lechero, como el periodo abierto, el cual está en función del periodo de espera voluntario y la tasa de concepción en los primeros servicios. La precisión en la detección de calores se refiere al tiempo que ha transcurrido, desde el inicio del estro hasta su detección, y puede resultar en el servicio de vacas que ya no están en estro, reduciéndose la tasa de concepción, e incrementándose el periodo abierto y el intervalo entre partos (Heersche y Nebel, 1994).

La eficiencia en la detección de calores puede ser estimada por medio del intervalo entre estros registrados, el porcentaje de ciclos de duración corta, normal y larga, las vacas detectadas en estro durante un periodo de 24 días, el porcentaje de vacas observadas en estro a los 60 días posparto, el porcentaje de vacas abiertas 21 d después del periodo de espera voluntario, el porcentaje de celos programados realmente vistos, el periodo parto-primer estro, parto-primer servicio, parto-concepción, y el porcentaje de vacas preñadas en cada examen programado de diagnóstico de gestación. Si la precisión en la detección de calores se considera como el porcentaje de estros observados que son verdaderos, la precisión sería del 80 %, si 2 de cada 10 vacas son inseminadas en ausencia de estro; otros métodos para estimarla son: por medio del intervalo interestrua (60-70 % de los intervalos entre 18-24 d), la palpación del tracto reproductivo (cuernos uterinos turgentes, cervix abierto y presencia de estructuras foliculares de 15-25 mm, y cuerpo lúteo menor de 10 mm), la tasa de no retorno (87 % o más), la tasa de gestaciones en un periodo (50 % o más es un buen indicador), y la medición de progesterona en sangre o en leche ( $< 1$  ng/ml) puede ser un buen indicativo de que la vaca está en celo (Heersche y Nebel, 1994).



## 3.2. NÚMERO DE PARTO

La fertilidad del ganado lechero declina con la edad, a medida que se aumenta el número de partos. Además, las vacas de mayor edad, son más productivas y pueden ser más susceptibles a los efectos de una alta producción sobre la involución del útero y el tiempo requerido para la primera ovulación posparto. Así mismo, la edad al parto tiene efectos sobre la duración de los primeros ciclos reproductivos, de tal forma que, los dos primeros tienen rangos mayores, que van de 9-28 y de 11-26 días, respectivamente, comparados con el rango aceptado como normal, de 18-24 días (Fonseca *et al.*, 1983). Mientras que algunos autores consideran que la actividad ovárica posparto no es afectada por el número de parto, otros sostienen que un mayor intervalo del parto al primer servicio, puede ser esperado en vacas primíparas. Sin embargo, tomando como base la recomendación de que una condición corporal de 4 es la mejor para el manejo reproductivo, cuando se mantiene a todo el ganado con esa condición corporal (4) argumentando que las vacas del primer parto, e incluso las del segundo, destinan parte del alimento consumido para crecimiento, el estado nutricional al parto puede estar confundido con la edad y el número de parto de los animales (El-Din *et al.*, 1995).

Los días abiertos y los días al primer servicio son mayores en vacas de 3 o más partos que en las más jóvenes, y estas vacas manifiestan un 8% más de tasa de concepción que las vacas adultas (Eicker *et al.*, 1996). En este mismo sentido, Núñez y Ramírez (1995) encontraron que el menor intervalo parto primer servicio fue encontrado en vacas de segundo y tercer parto, edades en las que la vaca destina una menor proporción de alimento para crecimiento y aun no alcanza su máximo nivel de producción, lo que le permite manifestar un mejor comportamiento reproductivo. El número de parto influye significativamente sobre el periodo parto concepción; el mayor periodo abierto se ha encontrado en vacas de un parto y en adultas de 5 o más partos; finalmente, el número de parto tiene efecto significativo en el número de servicios por concepción. Normalmente, del segundo al quinto parto se mantiene la misma respuesta en el número de servicios por concepción, mientras que, a partir del sexto, es mayor la cantidad de servicios que se requieren para que las vacas queden gestantes; esto es atribuido a la relación que existe entre el número de parto con la edad y la eficiencia reproductiva (Núñez y Ramírez, 1995).



### 5.3. PRODUCCIÓN DE LECHE

La producción de leche es uno de los factores que afectan el comportamiento reproductivo de un hato lechero. Muchos estudios han establecido que los parámetros reproductivos son más bajos para las vacas con alta producción; esta relación negativa no ha sido totalmente aclarada; sin embargo, la selección genética por nivel de producción puede explicar parte de ese efecto. Los días a la primera detección de un calor es una variable afectada por la producción de leche; las vacas altas productoras tienden a ser detectadas en estro antes que las bajas productoras (Fonseca *et al.*, 1983). Asimismo, las vacas con niveles de producción por abajo o por arriba de la media del hato, tienden a incrementar los días del parto al primer servicio, con 2.07 días por cada 100 Kg. de leche producida durante los primeros 70 días de lactancia. Al mismo tiempo, cada 100 kg de incremento en la producción de leche, resulta en un incremento de 3.4 días abiertos.

La producción de leche afecta también la tasa de concepción. Las vacas que producen entre 1400 y 2600 kg durante los primeros 70 días posparto, tienen tasas de concepción similares; sin embargo, la tasa de concepción se incrementa en vacas que producen menos de 1400 kg de leche en los primeros 70 días posparto, y se reduce para las vacas que producen más de 2600 kg de leche en el mismo periodo.

La producción de leche a los 70 días posparto, afecta la duración de los primeros ciclos reproductivos. Se ha encontrado un rango de 9-28 días para el primero y de 11-26 días para el segundo, rangos que son más amplios que el considerado normal, de 18-24 días. Algunos estudios han indicado que hay un marcado antagonismo genético entre alta producción de leche y fertilidad, y se ha reportado que las vacas con 900 kg por arriba de la media del hato, tienen una tasa de concepción que es 20 % más baja. También se ha reportado que la correlación genética entre la producción a los 120 días posparto con los parámetros de fertilidad, es del orden del 50 %, lo que indica que buena parte de la variación en la fertilidad, depende del nivel de producción de leche (Badinga *et al.*, 1985). También se han reportado valores de correlación genética entre parámetros reproductivos y producción de leche a 305 días, que van de 0.48 a 0.62. Esta relación positiva (por ejemplo entre producción y días abiertos) indica una relación antagónica entre las dos características, a medida que aumenta la producción de leche, aumentan los días abiertos.



La característica endocrina más notable, asociada con el anestro, es una marcada supresión de la liberación pulsátil de LH. Esto implica que el amamantamiento o la producción de leche, interfieren con la liberación de GnRH del hipotálamo, o que la glándula pituitaria no es capaz de responder apropiadamente a la estimulación del GnRH (Williams, 1990). Generalmente se ha considerado que las vacas lecheras de alta producción, muestran una alta incidencia de desórdenes reproductivos, causados algunas veces por desbalance hormonal, y en otras ocasiones, por estados patológicos como metritis. Estos padecimientos son diagnosticados con base en la presencia de descargas vaginales purulentas, o por medio de un examen con vaginoscopio. Lo importante de lo anterior es señalar, que entre el 30 y el 60 % de las vacas lecheras en sistemas intensivos, manifiestan algún tipo de disfunción ovárica posparto, que tienen relación con altos niveles de producción de leche. Estas disfunciones ováricas resultan en una baja tasa de concepción al primer servicio y en intervalos entre partos más largos; así, la endometritis puede ser uno de los factores que afectan adversamente el comportamiento reproductivo de las vacas lecheras de alta producción (Nakao *et al.*, 1992). La relación entre el pico de producción de leche, la persistencia lactacional y la tasa de concepción ha sido estudiada ampliamente. Las vacas con un pico de producción mayor que el promedio en el hato (>38 kg/día) es menos probable que conciban que las de un pico menor a 38 kg/día. Asimismo, las vacas con una mayor persistencia lactacional, muestran una menor probabilidad de concebir en uno o dos servicios, que aquellas con una persistencia menor. Las producciones altas estuvieron asociadas con bajas tasas de concepción, lo que sugiere que, la demanda metabólica para una alta producción reduce la fertilidad de las vacas (Nebel y McGilliard, 1993).

La asociación entre producción de leche, días abiertos y días del primer servicio, ha sido estudiada recientemente, llegando a la conclusión de que la producción láctea puede tener un efecto importante en el comportamiento reproductivo del ganado lechero. Sin embargo, la relación entre producción de leche y concepción es particularmente difícil de estudiar, debido a que se encuentra parcialmente confundida con el efecto de desecho por problemas reproductivos. Aun así, los días abiertos y los días al primer servicio fueron mayores en vacas de alta producción durante los primeros 60 días de lactancia (Eicker *et al.*, 1996).



## 5.4. CONDICIÓN CORPORAL

La medición de la condición corporal es un método subjetivo de evaluar la cantidad de energía metabolizable, acumulada como reservas corporales en el animal vivo. En vacas lecheras generalmente se mide en una escala de 1 a 5 e incluye la palpación de las vacas para determinar la cantidad de tejido graso bajo la piel. Sin embargo, en hatos lecheros de gran tamaño, es muy limitado el uso de estos sistemas de medición, utilizándose solamente la inspección visual de los animales, que además de rápido, es un método que no es afectado por el tamaño corporal y puede ser relacionado con la producción de leche y el comportamiento reproductivo (Edmondson *et al.*, 1989).

Los cambios en condición corporal están relacionados con cambios de peso, en la composición del cuerpo, en la salud y en la productividad del ganado lechero. La pérdida rápida de condición corporal después del parto, puede estar asociada con una alta incidencia de desórdenes metabólicos, reduciéndose la fertilidad e incrementándose la incidencia de otros problemas de salud. La sobrecondición corporal, conocida como síndrome de la vaca gorda, está asociada con infecciones digestivas, metabólicas, reproductivas y otros problemas al parto y lactancia temprana; estas vacas consumen menor cantidad de alimento, producen menos leche y, aunque movilizan mayor cantidad de tejido, son menos eficientes para utilizar la energía removida perdiendo más peso que las vacas más delgadas al parto (Reid *et al.*, 1986; Treacher *et al.*, 1986). Por otro lado, en vacas que sufren pérdida de peso durante el periodo seco, puede haber un incremento en la mortalidad al parto, y las vacas menos productivas manifiestan un periodo abierto más largo y una ganancia en condición corporal durante su lactancia.

Las vacas lecheras de alta producción deben llegar al parto con una adecuada reserva de tejidos para cubrir sus necesidades de proteína y energía durante la lactancia temprana y el pico de producción; sin embargo, se requiere de mucha información sobre la cual basar las recomendaciones de la condición corporal óptima durante la vida productiva del ganado lechero (Gearhart y Curtis, 1990). Estos autores han reportado  $79 \pm 23$  d al primer servicio;  $1.8 \pm 1.1$  servicios por concepción;  $97 \pm 39$  días abiertos;  $8732 \pm 1504$  kg de leche corregida a 3.5 % de grasa; 44 % de tasa de concepción al primer servicio; y una vida productiva promedio de 3 lactancias; los padecimientos durante la lactancia fueron de



% de distocia; 10.3 % de retención de placenta; 7.5 % de metritis; 9.3 % de ovarios  
técnicos; 13 % de mastitis; y 9.1 % de fiebre de leche.

Las reservas de energía en la vaca lechera son almacenadas como tejido  
graso y apoyan, durante el primer mes de lactancia, en el 33 % de la producción total de  
leche. Después del parto, se reducen los procesos de lipogénesis y esterificación,  
aumentando los procesos de lipólisis y liberación de ácidos grasos volátiles. Además, las  
vacas de las vacas altas productoras, son más sensibles a las señales lipolíticas del  
sistema nervioso y endocrino. Las vacas que paren con alta condición corporal, tienen una  
buena reserva para apoyar la producción de leche, pero a menudo, tienen un bajo  
consumo de alimento, lo que incrementa el balance negativo de energía; este desbalance  
se da al inicio de la actividad ovárica, debido a que la función productiva tiene prioridad  
fisiológica sobre la función reproductiva; es así que, por cada unidad perdida en condición  
corporal, la vaca pierde unos 56 kg de peso vivo (Pedron *et al.*, 1993).

En el ganado lechero, tanto alta como baja condición corporal al parto, puede  
estar asociada con reducción en la producción de leche e incremento en problemas  
reproductivos y de salud. La condición corporal es medida independientemente del peso  
y tamaño corporal, y por eso es un indicador más confiable de las reservas  
energéticas. El ganado lechero inicia su actividad ovárica posparto solo después que el  
animal ha retornado a un balance positivo de energía, y las vacas obesas, tienden a  
aumentar el número de días abiertos, el intervalo entre partos y los costos de  
producción; por otro lado, vacas muy delgadas al parto, manifiestan patrones de ovulación  
y tasas de preñez muy bajas. La sobrecondición en ganado lechero, ha sido relacionada  
con incrementos en enfermedades al parto; asimismo, se ha demostrado que la tasa de  
perda de grasa corporal es un indicador más específico de la susceptibilidad a  
enfermedades; vacas con sobrecondición al final de la lactancia o a los 30 días en leche,  
son más propensas al desarrollo de quistes ováricos, laminitis y metritis, aunque  
generalmente, muy pocas vacas llegan en sobrecondición al parto, debido al incremento  
del mérito genético para producción de leche y al manejo alimenticio más intensivo. Es  
así que, a medida que aumenta el nivel de producción de leche, la incidencia de vacas  
en condición alta, es menor; no obstante, el patrón general y los cambios en condición



corporal tienen estrecha relación con el número de parto, la producción de leche y la fase de la curva de lactancia, a través del consumo de nutrientes y la síntesis y utilización de la reserva corporal, todos ellos responsables del estado energético de la vaca; de manera más práctica, la condición corporal es un reflejo de los programas genéticos y de manejo alimenticio de un hato (Waltner *et al.*, 1993).

## 5.5. NUTRICIÓN Y REPRODUCCIÓN

El intervalo del parto a la primera ovulación en vacas lecheras de alta producción, está inversamente relacionado con el balance de energía durante los primeros 20 días de lactancia; es decir, mientras más severo es el balance negativo de energía, más largo es el periodo a la primera ovulación (Butler *et al.*, 1981) debido a que los niveles de LH y FSH son más bajos en este tipo de animales (Swanson, 1989). El balance negativo de energía actúa probablemente, de manera similar a un proceso de subnutrición, y puede manifestarse como un retraso en la actividad ovárica, ya que impide la secreción pulsátil de LH, evento que favorece el desarrollo folicular y la ovulación (Butler y Smith, 1989).

El balance negativo de energía afecta la calidad de los oocitos que se encuentran en los ovarios durante el periodo de subnutrición; de acuerdo a estudios recientes, los folículos del bovino tardan 80 días en crecer y madurar hasta su ovulación. Si los folículos se exponen a condiciones adversas, tales como un severo balance energético negativo durante las fases iniciales de crecimiento, se verá afectado su desarrollo final; esto explica quizá, el por qué las vacas de alta producción manifiestan serias dificultades para preñarse entre los 60 y 120 días posparto; el periodo en que la vaca produce más leche y por lo tanto se encuentra bajo un mayor estrés, es el mismo en el cual se están desarrollando los óvulos que estarán presentes alrededor de los 100 días posparto. Debido a lo anterior es muy probable que los efectos nocivos del balance energético negativo se manifiesten varias semanas después del parto, aún cuando la vaca haya alcanzado un balance energético positivo. Los folículos presentes en los ovarios entre los 90 y 120 días posparto, secretan niveles bajos de estrógenos, lo cual conduce a la presentación de calores menos manifestados y a un nivel menor de secreción de LH para la ovulación y la luteinización del cuerpo lúteo; esto último da como resultado una reducción



en la secreción de progesterona, que se ha relacionado con una baja fertilidad (Craswell, 1996; Draper y Gibson, 1996).

En el ganado lechero, el intervalo del parto a la primera ovulación es de aproximadamente 30 días, apareciendo unos 12 días después del punto más bajo en el balance negativo de energía; sin embargo, no se ha encontrado que la condición corporal al parto y durante las primeras 6 semanas, estén relacionadas con los días a la primera ovulación, evento que ocurre con signos visibles de estro, solamente en el 15 % de los animales; en tanto que, para el segundo ciclo, esta proporción aumenta a un 70 %; la duración de los dos primeros ciclos (de la primera a la segunda y de la segunda a la tercera ovulación) es de longitud normal, aunque algunas vacas (20 %) tienden a manifestar una primera fase luteal corta (menor de 10 días) y otras (10 %) una fase lútea larga (> 31 días); el intervalo al primer servicio es aproximadamente de 66 días, con una tasa de concepción de 42.5 %, que es dependiente de los días a la primera ovulación, del número de ovulaciones previas al primer servicio, y del balance de energía durante las primeras 4 semanas posparto (Senatore *et al.*, 1996).

## 5.6. DESORDENES REPRODUCTIVOS

Las causas de infertilidad o falla reproductiva son de naturaleza múltiple; estas incluyen factores de manejo, ambientales, metabólicos y endocrinológicos, los cuales interactúan y ejercen una influencia adversa sobre el comportamiento reproductivo y la producción de leche. El periparto generalmente incluye al periodo seco y las primeras 3-4 semanas de lactancia. Los eventos indeseables durante el periparto pueden resultar en desecho o muerte de la vaca; el parto es uno de los eventos más críticos del ciclo reproductivo del ganado, y de alta incidencia de mortalidad en las vacas y en las crías. El mantener la salud del hato, es uno de los aspectos más importantes para lograr una buena fertilidad, alta producción de leche, menor tasa de desechos y máxima ganancia económica (Stevenson y Call, 1988).

### 5.6.1. DISTOCIA

La distocia incluye cualquier parto prolongado o difícil, en el cual la asistencia es requerida. Para su medición cuantitativa se han utilizado diferentes esquemas, en los que



se asigna un valor numérico a cada evento. La dificultad al parto o distocia, se presenta en promedio, en el 6 % de los partos en ganado lechero, y es uno de los caracteres secundarios de mayor importancia económica en la producción de leche (se estima una pérdida económica de unos 25 dólares por vaca); su heredabilidad es de 0.03 a 0.20, y debido a que no está correlacionada con caracteres de producción, hay posibilidad de reducir su incidencia a través de selección genética (Dematawewa y Berger, 1997). La causa más frecuente de distocia es el tamaño del becerro en relación al área pélvica de la vaca; sin embargo, pueden influir el peso al nacer, el sexo de la cría, la edad de la vaca, el parental, la nutrición, la estación, la salud, y aspectos endocrinos. Algunas consecuencias de distocia son el incremento en el riesgo de retención placentaria, metritis, fiebre de leche, ovarios císticos, desecho por muerte, mayor intervalo del parto al primer servicio, mayor número de servicios por concepción e intervalo entre partos, y eventualmente, menor producción de leche (Stevenson y Call, 1988).

#### 5.6.2. RETENCIÓN DE PLACENTA

La placenta se expulsa, por lo regular, entre los 30 min y las 8 h después del parto (Gordon, 1996). Las vacas que retienen la placenta durante más de 12 h después del parto, es más probable que padezcan algún tipo de enfermedad uterina. Sin embargo, aquellas vacas que vuelven rápidamente a la normalidad después de una retención placentaria, son tan fértiles como el resto del hato, lo que indica que en ausencia de anomalías subsiguientes, la retención tiene un efecto mínimo sobre la reproducción. La retención placentaria es más común en ganado lechero, y la incidencia varía del 8-12 % en partos únicos. Los factores de riesgo de mayor importancia son: el nacimiento de machos y gemelos, aborto, natimortos, partos fuera de tiempo, bajo peso al nacer del becerro, raza, hato, año, estación, estrés, deficiencias nutricionales, desbalance hormonal, y parto distócico (Joosten y Hensen, 1992). La causa de la retención placentaria es una incapacidad de las vellosidades del cotiledón fetal para desprenderse de las criptas de la carúncula materna; la separación normal sucede debido a las fuertes contracciones uterinas durante el parto. Los signos clínicos más objetivos son una descarga maloliente y una masa deformable de tejido que cuelga de la vagina. Las placentas retenidas normalmente se expulsan 7-10 días después del parto, cuando el tejido caruncular se ha necrosado causando una metritis, que puede ser de moderada a grave. Existe una gran



cantidad de tratamientos para la retención placentaria, incluyendo intentos agresivos de extracción manual, estimulantes del miometrio (oxitocina), y antibióticos intrauterinos (tetraciclina) o sistémicos (solos o combinados con extracción manual). La incidencia de la retención placentaria puede reducirse proporcionando un periodo seco adecuado (6-8 semanas), ración equilibrada en calcio, fósforo, selenio, vitaminas A y E, ejercicio, reducción del estrés y ambiente higiénico en el parto; finalmente, hay que agregar que, la retención de placenta es más detrimental en la fertilidad posparto que las descargas uterinas (metritis), tomando en cuenta el retraso que sufre el ganado en el inicio de la actividad ovárica posparto, y un aumento en los servicios por concepción y en los días abiertos (Holt *et al.*, 1989; Laing *et al.*, 1991).

### 5.6.3. METRITIS

Las infecciones del útero son más comunes en ganado lechero que en ganado para carne. El padecimiento varía en su gravedad desde endometritis ligeras a metritis tóxicas, que pueden retrasar la concepción, o conducir incluso a la muerte del animal. Un gran número de factores influyen en la gravedad e incidencia de las infecciones uterinas, incluyendo la especie y patogenicidad del microorganismo causante, las defensas celulares e inmunológicas, el manejo alimenticio y la higiene ambiental. Su incidencia aumenta si la placenta queda retenida, ya que retrasa el proceso de involución uterina, facilitando la infección, y aunque hay una gran variedad de bacterias implicadas, el *Actinomyces pyogenes* se encuentra más frecuentemente involucrado (Lewis, 1997).

En los primeros estadios de infección por *A. pyogenes*, la endometritis suele ser leve, pero si persiste por más de una semana, aparece a continuación una endometritis grave que puede desaparecer gradualmente después de un mes. En este caso, las lesiones uterinas disminuyen gradualmente 3-4 semanas después de la desaparición de *A. pyogenes*. Muchas de estas vacas son fértiles después. Cuando la infección es muy severa, la endometritis progresa a metritis y piometra. Estas vacas pueden presentar infertilidad prolongada o incluso esterilidad. No hay evidencia de que las vacas con anormalidades ováricas, sean más susceptibles, aunque a menudo existe un cuerpo lúteo persistente en casos de endometritis y piometra. Esto se debe al fracaso en la regresión total del cuerpo lúteo una vez declarada la infección uterina. La endometritis se asocia con



una actividad luteínica prolongada, que deprime la actividad fagocitaria de los neutrófilos, y con altas concentraciones de progesterona, debido posiblemente, a que el contenido anormal del útero suspende la liberación de prostaglandinas del endometrio o la secuestra en la luz del útero. En contraste, la alta concentración de estrógenos, asociada con el estro, parece aumentar el ritmo de eliminación del problema.

El tratamiento de las infecciones uterinas se ha llevado a cabo por medio de recomendaciones que aconsejan el uso de antibióticos en infusiones intrauterinas. Sin embargo, la administración parenteral de antibióticos durante varios días puede ofrecer mejores resultados, aunque esta práctica no es muy aceptada debido a que las vacas se encuentran en su máxima producción cuando requieren el tratamiento. Además, es difícil calcular la concentración mínima inhibitoria de cada antibiótico para que el tratamiento sea efectivo, sin olvidar que, algunos antibióticos de recomendación intrauterina, irritan el endometrio, el cervix y la vagina, reduciendo la fertilidad de las vacas tratadas. Se han utilizado varios preparados hormonales para tratar las infecciones uterinas, ya sea solos o en combinación con antibióticos. La mayoría de los tratamientos se dirigen a intentar la regresión de un cuerpo lúteo, con el uso de  $\text{PGF2}\alpha$ , y conseguir el estro; los estrógenos endógenos asociados con la fase folicular, tienen un efecto favorable sobre la fagocitosis de los neutrófilos del útero; la práctica actual de administración seriada de  $\text{PGF2}\alpha$ , cada 14 días, tiene este fundamento. Las infecciones uterinas pueden prevenirse o reducirse en número, con una higiene estricta del ambiente durante el parto, así como vigilando la expulsión de placenta (Laing *et al.*, 1991).

#### 5.6.4. CUERPO LÚTEO DE VIDA CORTA

El cuerpo lúteo es una glándula temporal que se desarrolla a partir del folículo ovulatorio. Después de la ovulación, la cavidad folicular es poblada por células de la granulosa y de la teca interna, formando el cuerpo lúteo, que tiene como función principal, la secreción de progesterona, hormona fundamental en el establecimiento de la gestación. Cuando la gestación no ocurre, el cuerpo lúteo es destruido por efecto de la  $\text{PGF2}\alpha$ , producida por el endometrio, reiniciándose un nuevo ciclo. En la vaca existen varias condiciones fisiológicas en las cuales se producen ciclos estrales de corta duración, debido a la regresión prematura del cuerpo lúteo. De esta forma, se desarrollan cuerpos



teos de vida corta, en la primera ovulación que se presenta al llegar a la pubertad, y en la primera ovulación posparto (Hernández, 1997). Los cuerpos lúteos de vida corta se caracterizan por generar elevaciones transitorias de progesterona que rara vez llegan a ser mayores a 1 ng/ml, y porque la regresión lútea ocurre entre el día 5 y 6 después de la ovulación. La importancia de esta fase lútea corta dentro del control neuroendocrino del ciclo estral, se desconoce; sin embargo, esta elevación transitoria de progesterona puede ser importante para el establecimiento de la sincronización entre el desarrollo folicular y el pico preovulatorio de LH. Existen dos líneas de investigación, bien definidas, que explican el origen de los cuerpos lúteos de vida corta. La primera señala que estas estructuras son consecuencia de la ovulación de un folículo inmaduro, que se desarrolló en un ambiente hormonal inadecuado. La segunda menciona que, los cuerpos lúteos de vida corta son intrínsecamente normales y que su regresión prematura obedece a una liberación anticipada de  $\text{PGF2}\alpha$  (Zarco y Hernández, 1997).

#### 5.6.4.1. DESARROLLO FOLICULAR INADECUADO

La fase lútea es una continuación de la maduración folicular; por tal motivo, las características funcionales del cuerpo lúteo serán consecuencia de las condiciones en que se desarrolló el folículo ovulatorio. Partiendo de este concepto, se considera que las fases lúteas de corta duración pueden ser consecuencia de la ovulación de un folículo anormal o inmaduro. Existe evidencia que indica que los folículos que dieron origen a cuerpos lúteos de vida corta, presentan menor capacidad esteroideogénica y menor número de receptores para LH, que los folículos que dieron origen a cuerpos lúteos normales. Asimismo, animales que desarrollan cuerpo lúteo de vida corta, presentan menores concentraciones de FSH, 4 días antes de la ovulación. La inducción de la ovulación en ovejas anéstricas, con una sola administración de GnRH, provoca el desarrollo de cuerpos lúteos de vida corta (Hunter, 1991); sin embargo, cuando el tratamiento con GnRH se aplica bajo el esquema que ocurre en condiciones fisiológicas normales (un pulso cada 3 h durante 24 h, seguido de 1 pulso cada 2 h y finalmente 1 pulso cada hora por 24 h) los animales son capaces de desarrollar fases lúteas normales. Lo anterior indica que, el ambiente hormonal que prevalece antes de la ovulación, está asociado, de alguna forma, con la regresión prematura del cuerpo lúteo.



#### 5.6.4.2. LIBERACIÓN PREMATURA DE PGF2 $\alpha$

El ambiente hormonal previo a la ovulación, es responsable del desarrollo de cuerpos lúteos de corta duración. Esto es cierto, pero cada vez es más evidente que el cuerpo lúteo de corta duración, no sufre un desarrollo anormal debido a una exposición inadecuada del folículo a las hormonas apropiadas, sino que, los niveles hormonales alterados antes de la ovulación, afectan la programación del útero con respecto al inicio de la secreción pulsátil de PGF2 $\alpha$ . Por otra parte, se ha observado que los cuerpos lúteos de corta duración, en la vaca y en la oveja, tienen las mismas características morfofisiológicas que los cuerpos lúteos de un ciclo normal; de esta forma, tanto el número de receptores para LH y PGF2 $\alpha$ , como la proporción y capacidad esteroidogénica de las células lúteas grandes y pequeñas, es similar en ambos tipos de ciclo. Existe información disponible, en vacas y en ovejas, que demuestra que la regresión prematura del cuerpo lúteo, obedece a una liberación anticipada de PGF2 $\alpha$ , presentándose la luteólisis debido al establecimiento de un patrón de liberación pulsátil de PGF2 $\alpha$ , similar al que ocurre al final de una fase lútea normal (Hernández, 1997).

El empleo de inhibidores de la síntesis de PGF2 $\alpha$  en vacas posparto, prolongan la fase lútea, lo que demuestra que, el útero de los animales con fases lúteas cortas secreta prematuramente PGF2 $\alpha$ , y que si se suprime esta secreción, el cuerpo lúteo continúa funcionando normalmente. La causa de esta liberación anticipada de PGF2 $\alpha$  no se conoce totalmente; sin embargo, se ha observado que las ovejas que presentan cuerpos lúteos de vida corta, tienen en el endometrio, gran cantidad de receptores para oxitocina el día 5 después de la ovulación, y durante la luteólisis prematura es evidente una asociación entre los picos máximos de oxitocina y la secreción de PGF2 $\alpha$ , tal y como ocurre durante la luteólisis de un ciclo normal (Zarco y Hernández, 1997).

El útero que no ha sido expuesto previamente a progesterona, secreta prematuramente PGF2 $\alpha$  en su primera fase lútea. Al respecto, animales en anestro, que son inducidos a ovular, y que son previamente tratados con progestágenos, tienen una concentración, significativamente menor, de receptores a oxitocina entre los días 3 y 5 después de la ovulación, lo que evita la luteólisis prematura. La progesterona desempeña



por lo tanto, un papel importante en la programación del inicio de la liberación pulsátil de PGF2 $\alpha$ . En el endometrio, la progesterona inhibe la formación de receptores para estradiol, pero después de 10 a 12 días de exposición a la progesterona, los receptores para esta hormona desaparecen, lo que permite la síntesis de receptores para estradiol. El estradiol estimula en el endometrio, la formación de receptores para oxitocina, y así, la oxitocina producida por el cuerpo lúteo puede iniciar la secreción pulsátil de PGF2 $\alpha$  (Hernández, 1997).

#### 5.6.5. PERSISTENCIA FOLICULAR

La fertilidad del ganado que ha sido expuesto a la acción de progestágenos, para sincronizar el estro, se ha visto comprometida debido a que después de la luteólisis, concentraciones subluteales (1 a 2 ng/ml) de progesterona, resultan en la extensión del periodo de dominancia del folículo ovulatorio, situación conocida como persistencia folicular (CRR, 1996). La concentración de progesterona del cuerpo lúteo, a través del mecanismo de retroalimentación negativo sobre la frecuencia del pulso de liberación de LH, y su efecto sobre el crecimiento folicular y la producción de estradiol, son responsables del retorno del folículo dominante durante en ciclo estral y la preñez temprana (Duffy *et al.*, 2000). Sin embargo, una concentración subluteal de progesterona, bloquea el retorno del folículo dominante, incrementa las concentraciones de estradiol y la frecuencia del pulso de LH, y causa un rápido y más preciso inicio de la oleada preovulatoria de LH y del estro, después de retirar el tratamiento (Bergfeld *et al.*, 1995). Como la reducida fertilidad no es el resultado de falla en la ovulación o en la subsecuente función luteal, tres factores principales pueden ser responsables de esa reducción en la tasa de preñez, después de la ovulación de un folículo con una larga duración en su estado de dominancia: primero, la alta producción de estradiol durante el periodo de dominancia puede cambiar el ambiente intrafolicular, oviductal y uterino, causando un acelerado transporte del oocito y muerte embrionaria temprana; segundo, los cambios intrafoliculares durante dicho periodo de dominancia pueden influir al oocito y, después de la ovulación, incapacitarlo para la fertilización o causar disturbios sobre el desarrollo embrionario temprano; y tercero, el lento incremento en la frecuencia del pulso de LH puede romper con el reinicio de la meiosis, desde la oleada de LH, hasta la ovulación de un oocito excesivamente viejo (Mihm *et al.*, 1994).



El tratamiento con progestágenos reduce el número de células espermáticas en vagina, útero y oviducto después de la inseminación artificial y se incrementa el número de espermias rotos (Mihm *et al.*, 1994). Estos autores concluyen que la tasa de preñez se reduce con el incremento en el periodo de dominancia, y que la duración de este periodo, para máxima fertilidad, debe ser menor de 8 días; sin embargo, la mayor fertilidad (70 % o más) puede ser obtenida si el periodo de dominancia es menor de 5 días (Austin *et al.*, 1999). Esto último tiene una seria implicación, si consideramos que el periodo de dominancia del segundo folículo en ciclos de 2 ondas, posiblemente excede a 6 días, lo que debe ser considerado en la planeación de futuros programas de sincronización del estro. El examen de microfotografías de oocitos obtenidos por aspiración de folículos, en vacas tratadas con progestágenos, muestran la expansión que sufren las células del cumulus, la cromatina parcialmente condensada, y a veces dispersa en el ooplasma, indicando una maduración prematura y posible rompimiento de la vesícula germinal (Revah y Butler, 1996).

#### 5.6.6. QUISTE FOLICULAR

El quiste folicular es una estructura ovárica, que alcanza un tamaño mayor o igual a 25 mm de diámetro y persiste por lo menos durante 10 días. Son anovulatorios, poseen una pared delgada y secretan pocas cantidades de progesterona. Se ha estimado que los quistes foliculares se presentan con una frecuencia del 7 al 13 % en ganado lechero y debido a este desorden, las vacas alargan el intervalo entre partos, reducen su fertilidad y aumentan el gasto en semen debido al poco éxito que se obtiene en el servicio de inseminación artificial, cuando están presentes este tipo de estructuras. Los mecanismos que dan origen a los quistes foliculares se desconocen; sin embargo, se ha propuesto que altas concentraciones de progesterona (Silvia *et al.*, 2000), falta de oleada de GnRH-LH ocasionada por altas concentraciones de estradiol (Gumen *et al.*, 2000) y la estación del año, desbalance hormonal, producción de leche y factores hereditarios, son causales directos de esta situación (Garverick, 1997).

Los primeros trabajos en los que se utilizó la palpación rectal y se recurrió a la información obtenida de material de rastro, indicaron que los quistes foliculares persisten por un tiempo prolongado. Posteriormente, con el uso de ultrasonografía, fue ratificado



que los quistes pueden permanecer en el ovario durante un periodo extenso, pero también se presenta recambio y regresión. Además, pudo observarse que la dinámica folicular ovárica en los animales que tienen quistes, muestra cierta similitud con las oleadas foliculares de vacas con ciclos estrales normales, ya que el crecimiento folicular continúa, aunque el intervalo entre las oleadas foliculares se alarga y es más variable (Hamilton et al., 1995). Los quistes foliculares son capaces de desarrollar dominancia y permanecer de ese modo por un periodo prolongado; sin embargo, cuando dejan de ser dominantes, no necesariamente se observa una reducción en su tamaño, siendo incluso posible que continúen creciendo. Por otro lado, en algunos animales, la condición se resuelve por la luteinización de los quistes, o al ocurrir la ovulación de un folículo de nuevo crecimiento. El manejo terapéutico de los quistes foliculares tiene como objetivo, promover la luteinización por medio del uso de gonadotropinas, para inducir un pico de LH. Posteriormente, es recomendable el uso de  $\text{PGF2}\alpha$  para inducir la lisis de la estructura folicular ahora luteinizada. Un protocolo que recientemente se ha planteado incluye el uso de GnRH más un implante de progestágeno (PRID), seguido por  $\text{PGF2}\alpha$  administrada poco antes de retirar el dispositivo; el estro se presenta en asociación con un nuevo folículo dominante ovulatorio (Gutiérrez, 2000).



## HIPÓTESIS

La producción de leche, los cambios en condición corporal, el número de parto y la época del año, afectan la dinámica folicular al primer servicio posparto en vacas Holstein.

La eficiencia y precisión en la detección de calores mejora el comportamiento reproductivo del ganado lechero.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. LOCALIZACIÓN

Este trabajo se llevó a cabo del 9 de enero al 28 de julio de 1999, en el establo de la Unidad de Producción "18 de Julio", de la Sociedad Cooperativa de Producción Agropecuaria Chapingo y Anexos, SCL. Dicha Unidad de producción se encuentra ubicada en el Municipio de Tlahualilo, Durango, entre los 25° 54' 07" de latitud norte y los 103° 35' 09" de longitud oeste. La altura promedio del lugar es de 1137 msnm; con temperaturas extremas y una media anual de 21.1°C; la precipitación pluvial es de 239 mm anuales, distribuidos principalmente en los meses de julio a septiembre (García, 1987).

### 2. SISTEMA DE PRODUCCIÓN

El inventario de semovientes es de 90 becerras en crecimiento-desarrollo, 70 vaquillas en edad reproductiva y 230 vacas Holstein (195 en producción y 35 secas) de 1 a 6 partos, con nivel de producción de 26 l en línea, intervalo entre partos de 14 meses y fertilidad del 32 %. Se cuenta con 4 corrales para vacas en producción; en el corral 1 permanecen durante toda la lactancia, las vacas de primer parto; en el corral 2, las vacas de 2 o más partos, consideradas como altas productoras; el corral 3 aloja las vacas de 2 o más partos con producción intermedia; y en el corral 4, se encuentran las bajas productoras. El establo produce todo el forraje requerido durante el año, y los insumos para la elaboración del concentrado, los comercializa la empresa LALA; se llevan a cabo 2 ordeños en una sala de 12 plazas en espina de pescado, en un tiempo no mayor de 3 h.

### 3. ANIMALES

Para medir la dinámica folicular se utilizaron 27 vacas Holstein primíparas y 34 multiparas. Los partos se registraron durante los meses de enero a junio, considerando dos épocas: invierno, de enero a marzo, y primavera, de marzo a junio de 1999. Además, en la población total de vacas y vaquillas en edad reproductiva (n=300), se evaluó un programa de detección de celos distinto al establecido, con el fin de determinar el impacto de la detección de calores en el comportamiento reproductivo del ganado.



#### **4. MANEJO DEL GANADO**

Todas las vacas fueron alimentadas por medio de un carro mezclador, con capacidad de 2 toneladas. La ración fue elaborada con ensilado de maíz, alfalfa machacada y concentrado a base de granos, y fue ofrecida en 10 ocasiones durante el día, además de sales minerales y agua fresca a libre acceso. Los padecimientos comunes durante el posparto temprano, como retención de membranas fetales, hipocalcemia, metritis y mastitis, fueron tratados de acuerdo al criterio del técnico encargado del establo. En una investigación previa, las mismas vacas fueron monitoreadas cada 4 días para determinar la involución uterina y la primera ovulación postparto.

#### **5. DINÁMICA FOLICULAR Y DETECCIÓN DE ESTROS**

Para determinar la dinámica folicular fue utilizado un equipo de ultrasonografía (SONOACE 600®; Medison) acoplado a un transductor rectal de 7.5 MHz. Las vacas fueron revisadas cada 3 días hasta el primer servicio de inseminación. Durante este periodo fue registrada la siguiente información: número de ondas de crecimiento y desarrollo folicular; diámetro del folículo ovulatorio; ovulación, determinada por la presencia de un cuerpo lúteo en crecimiento, donde antes fue registrada la presencia de un folículo ovulatorio; días al primero, segundo y tercer calor postparto; días al primer servicio; número de animales con signos de estro con y sin ovulación, y número de animales con ovulación silenciosa. A los animales que les fue medida su dinámica folicular, les fue registrada su producción de leche y condición corporal al parto y después cada semana hasta los 150 días postparto.

Para evaluar el impacto de la detección de calores en el comportamiento reproductivo del ganado, se llevó a cabo otro trabajo de manera simultánea con el de dinámica folicular, en el mismo establo, y considerando todas los animales sujetos a la rutina de manejo reproductivo. Con este ganado se llevó a cabo una estricta vigilancia de los calores durante las 24 h del día; para esto, se asignaron 3 ayudantes, con jornada de trabajo de 8 h cada uno, y como ayuda adicional, se utilizaron machos de 4-5 meses de edad para la detección de calores. Los calores fueron reportados al final de los 3 turnos de vigilancia, y las vacas fueron inseminadas 12 h después de la detección del estro. Para

tener un marco de comparación, se cuantificó el total de servicios de inseminación artificial ofrecidos entre julio y diciembre de 1998 y entre enero y junio de 1999. Asimismo, se cuantificó el número total de partos registrados entre octubre de 1998 y mayo de 1999 y entre octubre de 1999 y mayo del 2000. La técnica de inseminación se llevó a cabo considerando el protocolo normal de revisión previa de la vaca, presencia de moco limpio y consistente, turgencia del útero, con periodo de espera voluntario de 60 días, haber pasado de preferencia el pico de producción, con una condición corporal mínima de 2.5, en la escala de 1-5, distancia entre celos de 18-24 días, tamaño del folículo ovulatorio de 12-18 mm, descongelación de semen a 35 °C durante 20 s, pasaje libre del cervix, depósito de la dosis total en el cuerpo del útero, y masaje del clítoris. Toda vaca inseminada, se programó a los 19, 20, 21, 40, 41 y 42 días después del servicio, para una nueva detección del estro (celo programado).

## **6. VARIABLES INDEPENDIENTES**

### **6.1. NÚMERO DE PARTO**

Las vacas fueron clasificadas por número de parto en función de su comportamiento reproductivo, considerando en el grupo 1 a las de un parto, y en el grupo 2 al resto de los animales.

### **6.2. PRODUCCIÓN DE LECHE**

La producción de leche fue medida cada semana, considerando la producción de los dos ordeños como valor total de la producción.

### **6.3. CONDICIÓN CORPORAL**

La condición corporal fue medida por tres jueces independientes, de donde se obtuvo el promedio del cambio de condición corporal durante la lactancia.

### **6.4. EPOCA DEL AÑO**

Para conocer el efecto de la época de parto en el comportamiento reproductivo del ganado, se consideraron dos épocas: del 8 de enero al 20 de marzo (invierno) y del 21 de marzo al 30 de junio de 1999 (primavera).



## **7. VARIABLES RESPUESTA**

### **7.1. DÍAS AL PRIMER ESTRO**

Son los días transcurridos desde la fecha de parto hasta la aparición de los primeros signos de estro. Para la determinación de este evento se contó con la ayuda de personal durante las 24 h del día, distribuidos en periodos de 8 h; los calores observados fueron reportados al final de cada periodo, para determinar con mayor precisión, la hora de inicio del estro. Se contó además con la ayuda de machos de 4 a 5 meses de edad, para la identificación de vacas en celo. Una vez que las vacas mostraron el primer celo, fueron programadas a los 20, 21 y 22 días después, con el fin de intensificar la detección de calores por medio de la técnica conocida como celo programado (Stevenson, 2000a).

### **7.2. DÍAS AL SEGUNDO ESTRO**

Son los días transcurridos desde la fecha de parto hasta la aparición del segundo estro. De igual manera, se contó con la ayuda de receladores y becerros, para facilitar la tarea de detección de calores; una vez detectado el segundo estro, las vacas fueron programadas para el siguiente celo si su periodo de espera voluntario (PEV) era inferior a 60 d; si su PEV rebasaba los 60 d, las vacas eran inseminadas, considerando el protocolo de inseminación descrito con anterioridad.

### **7.3. DÍAS AL TERCER ESTRO**

Es el tiempo transcurrido desde el parto hasta la aparición del tercer celo posparto. Su detección se llevó a cabo en las mismas condiciones que los dos anteriores. Algunas vacas que recibieron servicio de inseminación en su segundo celo, no aparecen en esta medición.

### **7.4. LONGITUD DEL PRIMER CICLO**

Son los días transcurridos entre los dos primeros estros consecutivos. Esta variable es uno de los indicadores más confiables para medir la eficiencia en la detección de calores. Por otro lado, nos ayuda a determinar si las vacas han normalizado sus ciclos reproductivos (Fortune, 1993).



### 7.5. NÚMERO DE ONDAS FOLICULARES EN EL PRIMER CICLO

Es el número de ondas de crecimiento y desarrollo folicular registradas por medio de ultrasonografía. Esta variable puede estar en función de la longitud del ciclo estral. Al parecer, el número de ondas tiene efecto en la fertilidad del ganado, a través de la duración de la fase de dominancia del folículo ovulatorio. La duración del periodo de dominancia es mayor para un folículo ovulatorio desarrollado en un ciclo de 2 ondas, puesto que es identificado aproximadamente el día 16 del ciclo, y ovula un día después del estro; en tanto que, la duración del periodo de dominancia de un folículo ovulatorio de una tercera onda, es menor, puesto que ese folículo es identificado por el día 19 del ciclo y ovula también un día después del estro. Lo anterior es importante si consideramos que la longitud de los ciclos de 2 o 3 ondas, no es estadísticamente diferente; esto último podría ser aprovechado para el cultivo *in vitro*, de oocitos provenientes de folículos ovulatorios de ciclos con 3 ondas (Savio *et al.*, 1990b).

### 7.6. DIÁMETRO DEL FOLÍCULO OVULATORIO DEL PRIMER ESTRO

El tamaño normal de un folículo ovulatorio es de 15-16 mm. Lo anterior es importante si se considera que, por medio de ultrasonografía, es posible descartar entre la presencia de folículos ovulatorios, folículos persistentes y quistes foliculares, tomando en cuenta su tamaño y el periodo de duración de su fase de dominancia, toda vez que, esta variación, tiene efecto en su capacidad posterior para ovular y ser fertilizado (Fortune, 1993; Revah y Butler, 1996).

### 7.7. DIÁMETRO DEL FOLÍCULO OVULATORIO DEL SEGUNDO ESTRO

El tamaño del folículo ovulatorio de estros subsecuentes, no es diferente de los anteriores (Fortune, 1993). Esto último puede ser un criterio que el inseminador podría tomar en cuenta para determinar si se lleva a cabo o no, el servicio de inseminación artificial.

### 7.8. DÍAS AL PRIMER SERVICIO

Es el periodo de tiempo transcurrido desde el parto hasta la primera inseminación. Normalmente el primer servicio está en función del estado reproductivo de cada vaca, de su nivel de producción de leche y de su condición corporal. Sin embargo,



ra vez que las vacas establecen una periodicidad en sus ciclos reproductivos, pueden ser inseminadas en cualquier momento, dejando pasar un periodo de espera voluntario razonable; este periodo es de 60 días en la mayoría de los casos; sin embargo, puede ser ajustado para cada vaca o grupo de vacas en el hato, dependiendo de la manifestación y de la consistencia de sus conductas estrales.

#### **7.9. INCIDENCIA DE OVULACIÓN AL PRIMER ESTRO**

Uno de los eventos más importantes durante el ciclo estral, desde el posparto temprano, es la ovulación, ya que la progesterona, hormona producida por el cuerpo lúteo, controla el mecanismo de liberación de  $\text{PGF}_{2\alpha}$  en el endometrio del útero, reduciendo sus contracciones, lo cual puede ser importante en la sobrevivencia del embrión. Las vacas que han ovulado en su primer estro, y el segundo se presenta aproximadamente a los 21 días siguientes, y se encuentran fuera de su PEV, pueden ser inseminadas en su segundo celo, si se registra la presencia de un folículo ovulatorio de tamaño normal (Savio *et al.*, 1993).

#### **7.10. INCIDENCIA DE OVULACIONES SIN ESTRO**

Es el porcentaje de ovulaciones ocurridas sin manifestación de signos externos de estro; esta situación es muy frecuente en vacas lecheras al inicio de su lactancia (Gil *et al.*, 1997).

#### **7.11. INCIDENCIA DE QUISTES FOLICULARES**

Es una situación en la que el folículo dominante no ovula y continúa creciendo, hasta alcanzar un tamaño de 25 mm o más. Las causas son de tipo hormonal, ambiental y genético (Garverick, 1997). Los quistes foliculares son una de las principales causas de falla reproductiva y pérdidas económicas en ganado lechero (Calder *et al.*, 1999).

#### **7.12. INCIDENCIA DE METRITIS**

Durante el posparto temprano es frecuente la ocurrencia de infecciones uterinas ocasionadas por diversos factores, entre los que destacan distocia y retención placentaria; este tipo de padecimientos retrasan la involución uterina y el reinicio de la actividad ovárica (Joosten y Hensen, 1992; Dematawewa y Berger, 1997).

## 1. INCIDENCIA DE QUISTE LUTEAL

Son estructuras que producen grandes cantidades de progesterona y que se observan sólo en un 30-40 % de los casos de estructuras quísticas (Gutiérrez, 2000).

## 4. SERVICIOS Y PARTOS REGISTRADOS

Estas variables se midieron cuantificando los servicios ofrecidos y los partos registrados en dos periodos, considerando además a los animales, como dos poblaciones medidas en diferente tiempo (Christensen, 1994).

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### 1. MODELOS ESTADÍSTICOS

El análisis consistió en determinar si la dinámica folicular fue afectada por número y época de parto, mediante el modelo  $Y_{ijk} = \mu + NP_i + EP_j + E_{ijk}$  donde:

$Y_{ijk}$  = Valor observado de las variables de dinámica folicular, en el  $i$ -ésimo número de parto y la  $j$ -ésima época.

$\mu$  = Media general.

$NP_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo número de parto ( $i = 1, 2$ ).

$EP_j$  = Efecto de la  $j$ -ésima época de parto ( $j = 1, 2$ ).

$E_{ijk}$  = Error aleatorio. Con NID  $(0, \sigma^2_e)$  en variables continuas y Bin  $(n, p)$  en variables categóricas.

El análisis de regresión permite predecir cualquier valor de la variable dependiente  $Y$ , que está asociado a valores específicos de la variable independiente  $X_i$  (Rebolledo, 2000).

**Producción de leche.** Para cada vaca se estimó la ecuación que predice su producción de leche del día 1 al día 150 posparto, con base al modelo propuesto por Wood (1967):

$$Y_n = an^be^{-cn}$$

donde:

$Y_n$  = Es la producción de leche  $n$  días después del parto.

$n$  = Tiempo transcurrido desde el parto.

$a, b$  y  $c$  son los parámetros de la ecuación.



Para estimar la producción de leche acumulada en cada evento fisiológico y de dinámica folicular, fue necesario calcular los coeficientes de regresión del logaritmo natural de la ecuación propuesta por Wood (1967), misma que, linearizada es:

$$\ln(Y_n) = \ln(a) + b \ln(n) - cn$$

La producción de leche acumulada al día 50 (PL50) por ejemplo, fue predicha mediante la suma de las producciones predichas del día 1 al día 50. La PL50 fue utilizada como variable independiente, para explicar la variación de algún evento de interés en la dinámica folicular ovárica.

**Condición corporal.** Para cada vaca fue estimada la ecuación que predice los cambios en su condición corporal hasta los 150 días posparto, en base al modelo:

$$Y_t = a - bt + ct^2$$

- donde:
- Es la condición corporal  $n$  días después del parto.
  - Es el efecto lineal del tiempo.
  - Es el efecto cuadrático del tiempo.
  - $b$  y  $c$  son los parámetros de la ecuación.

Las variables independientes o explicatorias, en relación a incrementos y decrementos en producción de leche y cambios en condición corporal (como persistencia de la curva de producción, pico de producción, punto más bajo de condición corporal, caída porcentual en la condición corporal), en conjunto fueron sometidas al procedimiento de selección de variables STEPWISE (Everitt y Der, 1996; Johnson, 1998; Yaser *et al.*, 1999; Rebolledo, 2000). La estimación de un modelo de regresión mediante selección de variables, incluye primero una o todas las variables explicatorias, y las va retirando o incluyendo en función del  $R^2$  obtenido; generalmente, cada vez que se incluye una variable independiente, aumenta el valor de  $R^2$  y disminuye el cuadrado medio del error, lo que es deseable, debido a la mayor significancia de las "F" calculadas; cuando no se logra reducir el cuadrado medio del error, se debe a que la variable incluida no contribuye de manera importante a explicar la variación de nuestra variable de interés, y en cambio, reduce los grados de libertad del error, aumentando así, su cuadrado medio; el modelo que explica con mayor precisión a nuestra variable de respuesta, debería ser seleccionado; sin embargo, no siempre es así, debido a que dicho modelo incluye una gran cantidad de

variables, que no podrían ser controladas por el investigador; lo más frecuente es que se utilice una o dos variables que expliquen la mayor cantidad de variación, y que sea biológicamente y económicamente factible su control (Rebolledo, 2000). El valor promedio para cada evento fisiológico, fue calculado para hacer la comparación entre grupos con diferente comportamiento reproductivo, sobre todo por número y época de parto; estos dos factores son de gran utilidad para proponer esquemas alternativos de manejo reproductivo. La información fue procesada mediante PROC GLM y PROC LOGISTIC, del paquete estadístico SAS (1997; versión 6.12). Los modelos utilizados fueron los siguientes:

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 PL_i + E_{ij} \quad \text{donde:}$$

$Y_{ij}$  =  $i$ -ésima producción de leche.

$j$  =  $j$ -ésima repetición de producción de leche.

$Y_i$  = Es una observación de días al primero, segundo y tercer celo, días a primer servicio, número de ondas foliculares, quiste folicular y quiste luteal, asociados a la  $i$ -ésima producción de leche en su  $j$ -ésima repetición.

$\beta_0$  = Intercepto.

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión asociado con  $PL_i$ .

$PL_i$  = Producción de leche acumulada a cada evento, como días a primer celo.

$E_{ij}$  = Error aleatorio.  $E_{ij} \sim NI(0, \sigma^2)$ , excepto para número de ondas foliculares, y quiste folicular y luteal, que son variables discretas, para las cuales  $E_{ij} \sim Bin(n, p)$ .

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 CCC2C_i + E_{ij} \quad \text{donde:}$$

$Y_{ij}$  =  $i$ -ésimo cambio de condición corporal al segundo celo.

$j$  =  $j$ -ésima repetición del cambio de condición corporal al segundo celo.

$Y_i$  = Es una observación de longitud del primer ciclo, asociada con el  $i$ -ésimo cambio de condición corporal al segundo celo en su  $j$ -ésima repetición.

$\beta_0$  = Intercepto.

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión asociado con  $CCC2C_i$ .

$CCC2C_i$  = Cambio de condición corporal al segundo celo.

$E_{ij}$  = Error aleatorio.  $E_{ij} \sim NI(0, \sigma^2)$ .



$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 CCC_i + E_{ij} \quad \text{donde:}$$

$i$  =  $i$ -ésimo cambio de condición corporal al primero y segundo celo.

$j$  =  $j$ -ésima repetición del cambio de condición corporal al primero y segundo celo.

$Y_{ij}$  = Es una observación de diámetro del folículo ovulatorio del primero y segundo celo, asociado al  $i$ -ésimo cambio de condición corporal en su  $j$ -ésima repetición.

$\beta_0$  = Intercepto.

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión asociado con el  $CCC_i$  al primero y segundo celo.

$CCC_i$  = Cambio de condición corporal al primero y segundo celo.

$E_{ij}$  = Error aleatorio.  $E_{ij} \sim NI(0, \sigma^2)$ .

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 PER_i + E_{ij} \quad \text{donde:}$$

$i$  =  $i$ -ésima persistencia en la producción de leche.

$j$  =  $j$ -ésima repetición de persistencia en la producción de leche.

$Y_{ij}$  = Es una observación de ovulación silenciosa asociada con la  $i$ -ésima persistencia en la producción de leche en su  $j$ -ésima repetición.

$\beta_0$  = Intercepto.

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión asociado con  $PER_i$ .

$PER_i$  = Persistencia de la producción lechera.

$E_{ij}$  = Error aleatorio.  $E_{ij} \sim \text{Bin}(n, p)$ .

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 INV_i + E_{ij} \quad \text{donde:}$$

$i$  =  $i$ -ésimo valor de días a la involución uterina.

$j$  =  $j$ -ésima repetición de días a la involución uterina.

$Y_{ij}$  = Es un valor observado de ovulación al primer estro asociada con la  $i$ -ésima involución uterina en su  $j$ -ésima repetición.

$\beta_0$  = Intercepto.

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión asociado con  $INV_i$ .

$INV_i$  = Días a la involución uterina.

$E_{ij}$  = Error aleatorio  $E_{ij} \sim \text{Bin}(n, p)$ .

$$Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \text{INCPL}_i + E_{ij} \quad \text{donde:}$$

$i$  =  $i$ -ésimo valor de incremento en la producción de leche.

$j$  =  $j$ -ésima repetición de incremento en la producción de leche.

$E_{ij}$  = Es un valor observado de metritis asociado con el  $i$ -ésimo incremento en la producción de leche en su  $j$ -ésima repetición.

$\beta_0$  = Intercepto.

$\beta_1$  = Coeficiente de regresión asociado con INCPL <sub>$i$</sub> .

INCPL <sub>$i$</sub>  = Son los incrementos en producción de leche.

$E_{ij}$  = Error aleatorio  $E_{ij} \sim \text{Bin}(n, p)$ .

### Prueba de hipótesis para dos proporciones

La prueba de hipótesis para decidir si dos proporciones son diferentes

(Christensen, 1994; Baca *et al.*, 1998) utiliza el estadístico:

$$Z = \frac{(P_1 - P_2) - 0}{\sqrt{P_0(1-P_0)(1/n_1 + 1/n_2)}} \quad \text{donde:}$$

$P_0$  = Total de servicios o partos ocurridos en ambas poblaciones/tamaño de muestra de ambas poblaciones

$P_1$  = Proporción de servicios o partos en la población 1

$P_2$  = Proporción de servicios o partos en la población 2

$n_1$  = Tamaño de la población 1

$n_2$  = Tamaño de la población 2



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las primeras técnicas estadísticas consistieron esencialmente en la organización, presentación gráfica, y cálculo de cantidades representativas del conjunto de datos, con el objeto de que los aspectos sobresalientes del mismo, fueran rápida y fácilmente visibles; a esta disciplina se le conoce como Estadística Descriptiva, de indudable utilidad en el conocimiento de la estructura de la información que se desea analizar. En la actualidad el investigador desea comparar las medias entre dos o más poblaciones que generan variables que son continuas; en otros casos su interés está en la comparación de las varianzas de sus poblaciones experimentales; y en un tercer caso, se encuentra con la necesidad de comparar 2 o más proporciones binomiales, originadas de variables aleatorias discretas.

Las poblaciones experimentales son definidas mediante el uso de tratamientos; un tratamiento puede ser una sustancia, una técnica, un proceso de fabricación, etc. La idea es aplicar los tratamientos (cualesquiera que estos sean) a las unidades experimentales, generando con ello una respuesta; esta respuesta es una observación de una variable aleatoria.

Las respuestas que se producen, sin embargo, no siempre resultan de la aplicación directa de tratamientos; en algunas situaciones, estas respuestas son observadas directamente en la población de interés, y la manera en que son seleccionadas las unidades que tendrá cada tratamiento, es llamada Diseño Experimental o Diseño de Muestreo, dependientes del proceso de Aleatorización, mecanismo que refuerza la credibilidad de la comparación entre los efectos de los tratamientos, al no introducir sesgos sistemáticos a favor de uno de ellos, haciendo que las conclusiones obtenidas de la comparación, sean válidas bajo una gran diversidad de condiciones (Infante y Zárate, 1983).

La descripción general de las variables sujetas al muestreo en el presente trabajo se presenta en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Dinámica folicular en ganado lechero Holstein (Estadísticos descriptivos).**

| Variable | n  | Media | ds    | Min  | Max   |
|----------|----|-------|-------|------|-------|
| DIAS1CEL | 55 | 46.32 | 27.10 | 9.0  | 178.0 |
| DIAS2CEL | 43 | 68.41 | 25.00 | 36.0 | 144.0 |
| DIAS3CEL | 31 | 89.12 | 21.34 | 54.0 | 130.0 |
| DIAS1SER | 54 | 84.09 | 32.57 | 50.0 | 213.0 |
| DFOV1CEL | 45 | 15.66 | 5.15  | 6.0  | 38.0  |
| DFOV2CEL | 36 | 15.91 | 4.12  | 9.0  | 35.0  |
| L1CIC    | 35 | 22.17 | 3.77  | 11.0 | 30.0  |
| NO1CIC   | 33 | 0.515 | 0.50  | 0    | 1.0   |
| OV1CEL   | 40 | 0.850 | 0.36  | 0    | 1.0   |
| QUISLUTE | 61 | 0.196 | 0.40  | 0    | 1.0   |
| QUISFOL  | 61 | 0.163 | 0.37  | 0    | 1.0   |
| METRITIS | 61 | 0.229 | 0.42  | 0    | 1.0   |
| OVSIL    | 61 | 0.295 | 0.45  | 0    | 1.0   |

En términos generales, a partir del día 46 posparto se registró el primer estro en la población estudiada (Días1Cel); los siguientes calores se presentaron a intervalos regulares dentro del rango normal de 18 a 24 días. La variación que presentó esta característica se va reduciendo a medida que avanza el periodo posparto; lo anterior muestra la mayor variabilidad que hay en la presentación del primer estro al inicio del periodo posparto; sin embargo, esta situación se corrige a lo largo de dicho periodo, lo que puede influir de manera positiva en la eficiencia y precisión para detectar esos calores. Por otro lado, fue posible registrar signos de estro desde las primeras semanas posparto; lo anterior es de gran importancia en la definición de la actividad de detección de calores.

El primer servicio (Días1Ser) fue ofrecido entre los días 50 y 213 posparto; los resultados anteriores muestran la variabilidad de este parámetro, variación que depende del momento en que se presentan los signos de estro en cada animal, y de otras situaciones como el número de parto, involución uterina y la incidencia de desórdenes reproductivos. El diámetro del folículo ovulatorio (DFO1Cel) fue más variable en el primero (6-38 mm) que en el segundo calor posparto (9-35 mm); sin embargo, el diámetro promedio de 15.8 mm, es similar al reportado en trabajos anteriores (Adams *et al.*, 1993; Ginther *et al.*, 1997; Lents *et al.*, 2000).



La longitud del primer ciclo (L1CIC) fue de  $22.17 \pm 3.77$  días, y valores mínimo y máximo de 11 y 30 días, respectivamente. El número de ondas foliculares que se presentaron en el primer ciclo (NO1CIC), fueron 2 ondas en el 51.5 % de los ciclos, y 3 ondas en el 48,5 % restante. La proporción de ovulaciones al primer celo fue de 85 %, y la incidencia de desórdenes reproductivos fue de 19.67, 16.39, 22.95 y 29.51 %, para cuerpo lúteo persistente (CLPERSIS), quiste folicular (QUISFOL), metritis y ovulación silenciosa (OVSIL), respectivamente.

La descripción por número de parto arroja algunas diferencias a favor de las vacas de un parto; en este sentido, el primer calor posparto se presenta a los 38.36 y 52.96 días, en vacas primíparas y multíparas, respectivamente, con mayor variación y rango de presentación en las vacas de mayor edad (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Dinámica folicular por número de parto en ganado lechero Holstein**

| Variable | Primíparas |       |       | Multíparas |       |       | prob  |
|----------|------------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|
|          | n          | Media | ds    | n          | Media | ds    |       |
| DIAS1CEL | 25         | 38.36 | 20.28 | 30         | 52.96 | 30.45 | <0.05 |
| DIAS2CEL | 18         | 59.50 | 20.74 | 25         | 76.56 | 25.72 | <0.05 |
| DIAS3CEL | 12         | 82.66 | 20.92 | 19         | 93.21 | 21.13 | >0.05 |
| DIAS1SER | 25         | 80.40 | 26.64 | 29         | 87.27 | 37.11 | >0.05 |
| DFOV1CEL | 20         | 14.80 | 2.30  | 25         | 16.36 | 6.58  | >0.05 |
| DFOV2CEL | 17         | 14.82 | 2.87  | 19         | 16.89 | 4.85  | >0.05 |
| L1CIC    | 16         | 22.31 | 3.80  | 19         | 22.05 | 3.85  | >0.05 |
| CIC2OND  | 16         | 0.625 | 0.50  | 17         | 0.411 | 0.50  | 0.221 |
| OV1CEL   | 20         | 0.900 | 0.30  | 20         | 0.800 | 0.41  | 0.376 |
| QUISLUTE | 27         | 0.037 | 0.19  | 34         | 0.323 | 0.47  | 0.018 |
| QUISFOL  | 27         | 0.037 | 0.19  | 34         | 0.264 | 0.44  | 0.004 |
| METRITIS | 27         | 0.222 | 0.42  | 34         | 0.235 | 0.43  | 0.904 |
| OVSIL    | 27         | 0.222 | 0.42  | 34         | 0.352 | 0.48  | 0.266 |

Los siguientes calores se presentan a intervalos regulares de 22 días en ambos grupos de animales, sin variación importante. Los ciclos con 2 ondas foliculares fueron más frecuentes en vacas de 1 parto (62.5 %) que en las de 2 o más (41.2 %). La incidencia de ovulaciones al primer estro en vacas de 1 parto (90 %) fue mayor que en las de 2 o más partos (80 %), en tanto que la incidencia de quiste luteal y folicular fue menos

frecuente en las de 1 parto (3.7 %) que en las de 2 o más partos (32.2 y 26.4 %, respectivamente); finalmente, la incidencia de metritis y ovulación silenciosa fue de 22.2 % en vacas de 1er parto y de 23.5 y 35.3 %, respectivamente, en las de 2 o más partos. La dinámica folicular no es diferente en vacas jóvenes y adultas; sin embargo, su estabilización se alcanza más tarde y con mayor frecuencia en la presentación de desordenes reproductivos en vacas de mayor edad.

La descripción por época de parto indica que en los eventos fisiológicos y de dinámica folicular medidos (Cuadro 3) no hubo diferencia significativa ( $p>0.05$ ); debe destacarse, sin embargo, que fueron más frecuentes los ciclos de 2 ondas en vacas paridas en invierno (57.8 %) que en primavera (42.8 %); la incidencia de ovulación al primer estro fue mayor en vacas paridas en invierno (90.9 %) que en primavera (77.7 %); la incidencia de quiste luteal, quiste folicular, metritis y ovulación silenciosa, fueron más frecuentes en invierno. Lo anterior podría ser explicado por la similitud en las condiciones ambientales de los meses en que fueron registrados los partos.

**Cuadro 3. Dinámica folicular por época de parto en ganado lechero Holstein**

| Variable | Invierno |       |       | Primavera |       |       | prob  |
|----------|----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
|          | n        | Media | ds    | n         | Media | ds    |       |
| DIAS1CEL | 28       | 46.82 | 30.76 | 27        | 45.81 | 23.29 | >0.05 |
| DIAS2CEL | 26       | 73.23 | 28.33 | 17        | 63.58 | 18.05 | >0.05 |
| DIAS3CEL | 22       | 89.36 | 21.73 | 9         | 88.55 | 21.63 | >0.05 |
| DIAS1SER | 27       | 86.62 | 38.45 | 27        | 81.55 | 25.89 | >0.05 |
| DFOV1CEL | 25       | 15.24 | 4.92  | 20        | 16.20 | 5.51  | >0.05 |
| DFOV2CEL | 21       | 15.23 | 2.71  | 15        | 16.86 | 5.50  | >0.05 |
| L1CIC    | 20       | 21.90 | 3.66  | 15        | 22.53 | 4.01  | >0.05 |
| CIC2OND  | 19       | 0.578 | 0.50  | 14        | 0.428 | 0.51  | 0.393 |
| OV1CEL   | 22       | 0.909 | 0.29  | 18        | 0.777 | 0.42  | 0.247 |
| QUISLUTE | 30       | 0.266 | 0.44  | 31        | 0.129 | 0.34  | 0.315 |
| QUISFOL  | 30       | 0.266 | 0.44  | 31        | 0.064 | 0.24  | 0.063 |
| METRITIS | 30       | 0.333 | 0.47  | 31        | 0.129 | 0.34  | 0.058 |
| OVSIL    | 30       | 0.366 | 0.49  | 31        | 0.225 | 0.42  | 0.228 |



## 1. DÍAS AL PRIMERO, SEGUNDO Y TERCER CALOR POSPARTO

Los días a la presentación del primero, segundo y tercer celo, siguen la misma tendencia dentro de número de parto. En los tres casos, la principal fuente de variación fue la leche acumulada al día del evento; así lo indican los valores de  $R^2$  de 0.89, 0.93 y 0.69, en vacas de 1 parto, para el primero, segundo y tercer celo, respectivamente; esto mismo indican los valores de  $R^2$  de 0.75, 0.69 y 0.47, en vacas de 2 o más partos, para el primero, segundo y tercer celo, respectivamente (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Dinámica folicular y variables que determinan su variación en ganado lechero Holstein**

| Variable dependiente                | Variable independiente                   | $R^2$   |                    |
|-------------------------------------|------------------------------------------|---------|--------------------|
|                                     |                                          | 1 parto | 2 o más partos     |
| Días al primer celo                 | Leche acumulada al 1 <sup>er</sup> celo  | 0.89    | 0.75               |
| Días al segundo celo                | Leche acumulada al 2 <sup>o</sup> celo   | 0.93    | 0.69               |
| Días al tercer celo                 | Leche acumulada al 3 <sup>er</sup> celo  | 0.69    | 0.47               |
| Días al primer servicio             | Leche acumulada al 1 <sup>er</sup> serv. | 0.90    | 0.62               |
| Diam. fol. ovu. 1er celo            | Cambio de C. C. al 1 <sup>er</sup> celo  | 0.20    | 0.26               |
| Diam. fol. ovu. 2 <sup>o</sup> celo | Cambio de C. C. al 2 <sup>o</sup> celo   | 0.29    | 0.29               |
| Longitud del 1er ciclo              | Cambio de C. C. al 2 <sup>o</sup> celo   | 0.15    | 0.16               |
| Nº de ondas del 1er ciclo           | Leche acumulada 100 días                 |         | 0.706 <sup>1</sup> |
| Quiste luteal                       | Leche acumulada a 50 días                |         | 0.784 <sup>1</sup> |
| Quiste folicular                    | Leche acumulada a 75 días                |         | 0.812 <sup>1</sup> |
| Metritis                            | Incremento en producción                 |         | 0.687 <sup>1</sup> |
| Ovulación silenciosa                | Persistencia en producción               |         | 0.766 <sup>1</sup> |

<sup>1</sup> Habilidad de predicción del modelo de máxima verosimilitud.

Los resultados anteriores indican que una vez reiniciada su actividad ovárica, las vacas son capaces de mantener esa ciclicidad; el efecto que tiene la producción de leche sobre la presentación del primer calor posparto, va desapareciendo a medida que avanza la curva de lactancia. Lo anterior se puede demostrar por los valores de  $R^2$  para leche acumulada, cada vez menos importantes en la determinación del evento, y por la distancia entre el primero y segundo, y entre el segundo y tercer calor; en ambos casos la longitud del ciclo es normal, esto es, quedan comprendidos en el rango de 18 a 24 días (Heersche y Nebel, 1994). Los resultados anteriores se contraponen a los reportados por Rajamahendran y Taylor (1990); estos autores encontraron que el primer estro ocurre a los  $89 \pm 55$  días en vacas de un parto, y a los  $46 \pm 23$  días en vacas multíparas. Por su parte, De Vries *et al.* (1999) reportaron el primer estro a los  $69.4 \pm 28.43$  días en ganado



lechero Holandés, resultados mayores a los encontrados en el presente trabajo. Al mismo tiempo, Campbell *et al.* (1999) reportaron  $67.6 \pm 10.4$  y  $46.9 \pm 10.0$  días en vacas lecheras suplementadas y no suplementadas, respectivamente, con una mezcla de minerales traza, entre los que destacan, Co, Cu, Mn y Zn.

La presentación del primer calor posparto fue diferente ( $P < 0.05$ ) entre vacas de 1 y 2 o más partos, y la diferencia se mantiene a lo largo de la lactancia. Esto último indica, que la dinámica folicular después del primer ciclo de duración normal, no tiene ningún efecto sobre el comportamiento reproductivo del ganado lechero; el pobre comportamiento reproductivo reportado por muchos autores es consecuencia, entonces, del mal manejo que recibe el ganado durante el posparto temprano, y de la poca importancia que se da a la detección de calores. Esto último coincide con las afirmaciones de Martínez (2000), en el sentido de que los desechos por mal comportamiento reproductivo que se atribuye a las vacas, debería ser atribuido al mal manejo que recibe el ganado. Las diferencias encontradas ( $P < 0.05$ ) en la presentación del segundo y tercer celo, podrían ser utilizadas, tan solo, para determinar el PEV de cada vaca o grupo de vacas en el hato. El factor limitante de mayor importancia para una fertilización exitosa, está asociado con la detección de calores. Por esto, es necesario actualizar al personal encargado de esta actividad, con entrenamientos frecuentes en las técnicas básicas de inseminación artificial y detección de calores, sin olvidar que, existen herramientas auxiliares para la detección de calores, como el crayonéo, Kamar, Heat Watch y otros de reciente introducción. Entre las recomendaciones más importantes para un mejor comportamiento reproductivo destacan las siguientes: confort, consumo de alimento, detección de calores, entrenamiento de receladores, ayudas en la detección de calores, viabilidad del semen, momento de la inseminación, técnica de inseminación, y depósito del semen en el lugar adecuado (Stevenson, 2000b).

## 2. LONGITUD DEL PRIMER CICLO ESTRAL

La longitud del primer ciclo estral está determinada, al menos en parte ( $R^2 = 0.15$ ) por la condición corporal al parto y los cambios en condición corporal hasta el segundo celo. La longitud del primer ciclo estral no fue diferente ( $P > 0.05$ ) en vacas de 1 y de 2 o más partos; esto confirma el hecho de que, una vez que las vacas regularizan su



dinámica folicular, son capaces de mostrar signos de celo en periodos regulares de 18 a 24 días, con promedio alrededor de los 22 días. Estos resultados concuerdan con los reportados previamente por Fortune (1993), quien encontró que la longitud del ciclo estral puede variar entre 19.7 y 21.5 días, dependiendo del número de ondas foliculares del ciclo. Por otro lado, Rhodes *et al.* (1995) reportaron valores de 20.2 a 22.0 días, en la duración del intervalo entre las ovulaciones de dos estros consecutivos, resultados similares a los encontrados en este trabajo. Asimismo, Ruiz-Cortés y Olivera-Angel (1999) reportaron un periodo entre ovulaciones de  $21 \pm 3$  días, en ganado Cebú. Sin embargo, se han reportado valores de  $15 \pm 7$  y  $18 \pm 8$  días de duración del primer ciclo estral, en vacas primíparas y multíparas, respectivamente (Rajamahendran y Taylor, 1990). Por otro lado, Sartori *et al.* (2000) reportaron valores de 23.0 y 23.9 días de longitud del ciclo estral, respectivamente, en vaquillas y vacas adultas, resultados similares a los reportados en el presente trabajo.

La duración del ciclo estral en la vaca es de 21 días, con un rango de 18-24 días (Hafez, 1978; Holy, 1986; Zemjanis, 1990; Gordon, 1996; Hafez, 1996). En el presente trabajo se encontraron promedios de 22 días, sin encontrar diferencias significativas entre vacas de 1 y de 2 o más partos. Lo anterior es importante desde el punto de vista de la fertilidad que puede ser alcanzada, cuando el promedio en la duración del ciclo estral se encuentra dentro del rango normal de 18-24 días (60 %); por otro lado, se han reportado valores inferiores en la tasa de concepción, cuando el periodo interestrual está por debajo o por arriba de ese rango (Gordon, 1996). Los tiempos a la presentación de los tres primeros calores registrados en el presente trabajo (Cuadro 2) nos indican una distancia entre cada evento, de alrededor de 22 días. Es evidente que las vacas, una vez que pasan el estrés del pico de producción de leche, manifiestan un adecuado comportamiento reproductivo, de tal manera que son capaces de mostrar señales de estro en periodos normales. Esta es la manifestación más clara de que la dinámica folicular, una vez presentado el primer celo, en la mayoría de la vacas, no afecta ya el comportamiento reproductivo. La pregunta es, a estas alturas, cómo resolver el problema del bajo comportamiento reproductivo, y parte de la respuesta es, sin duda, por medio de la mejora en las técnicas básicas en reproducción animal: eficiencia y precisión en la detección de calores, e inseminación artificial oportuna (Heersche y Nebel, 1994; Stevenson, 2000b).



## NÚMERO DE ONDAS FOLICULARES

La definición de una onda folicular involucra el desarrollo sincrónico de un grupo de folículos; en dicha onda aparece un folículo de mayor tamaño, denominado folículo dominante, el cual puede ovular o sufrir atresia (Arreguín *et al.*, 1997); esto último depende del número de onda (primera, segunda o tercera) a que pertenece el folículo; generalmente, la mayoría de los ciclos tienen 2 o 3 ondas de crecimiento y desarrollo folicular; su número depende en parte, de la longitud del ciclo estral y del momento en que ocurre la luteólisis. En ganado con 3 ondas, el ciclo puede ser más largo, debido a que el parto es diferido cuando el segundo folículo dominante falla en su ovulación, y un tercer folículo dominante requiere un poco más de tiempo para completar su desarrollo (Fortune, 1993). El número de ondas foliculares encontradas en el presente trabajo, no fue diferente ( $p > 0.05$ ) cuando se comparó la frecuencia de 2 y 3 ondas, en cada grupo de animales, en base al número de parto; lo anterior coincide con lo reportado por Fortune (1993); este autor encontró que la mayoría de los animales manifiestan de 2 a 3 ondas de crecimiento y desarrollo folicular, en ciclos de duración normal (18-24 días). Por su parte, Savio *et al.* (1990b) reportaron que el 50 % de los ciclos manifiestan 2 ondas de crecimiento folicular, resultados similares a los del presente trabajo. En ciclos de 2 ondas, su inicio ocurre los días 2 y 11 del ciclo, y en ciclos de 3 ondas, los días 2, 9 y 16 del ciclo; esto último es importante en programas de sincronización de calores, trasplante de embriones y fertilización *in vitro* de oocitos provenientes de folículos de distintas ondas de crecimiento y desarrollo folicular (Sirois y Fortune, 1988). El número de ondas foliculares reportado por Martori *et al.* (2000) fue de 2 ondas en el 56 % de animales y de 3 ondas en el 44 %, siendo más común el patrón de 2 ondas en animales más jóvenes; estos resultados son similares a los reportados en el presente trabajo.

## DÍAS AL PRIMER SERVICIO

Los días a primer servicio están determinados principalmente por la cantidad de leche acumulada al día del evento; así lo indican los valores de  $R^2$  de 0.90 y 0.62, en vacas de 1 y de 2 o más partos, respectivamente. Otros factores que tienen algún efecto, aunque no significativo, sobre los días al primer servicio, son los días a la primera ovulación posparto y los días a la involución uterina; lo anterior se fundamenta en el hecho de que la involución uterina, como factor de manejo durante el puerperio, siempre se toma



en cuenta para decidir el momento de la inseminación artificial. Asimismo, los días a la primera ovulación, se ha reportado recientemente que, afectan la fertilidad del ganado, desde el punto de vista de la exposición del útero a la progesterona del primer cuerpo lúteo (Holt *et al.*, 1989).

Los valores de días al primer servicio, en el presente trabajo, son similares a los reportados por Fonseca *et al.* (1983); estos autores encontraron un promedio de  $87.6 \pm 26.4$  días al primer servicio en vacas Holstein, y de  $85.0 \pm 15.9$  días, en vacas Jersey. Posteriormente, Coleman *et al.* (1985) reportaron un valor promedio de 77.6 días al primer servicio en un estudio realizado en vacas Holstein, Jersey, Ayrshire y Guernsey. Por su parte, Nebel y McGilliard (1993), encontraron que, los días al primer servicio seguían un comportamiento ascendente de acuerdo al nivel de producción de las vacas; en el estrato de 6 364 a 6 818 kg de leche, el periodo de tiempo al primer servicio fue de 88 días, y en el estrato superior, con niveles de 9 545 a 10 000 kg, el promedio al primer servicio fue de 92 días. Se han reportado valores promedio en días al primer servicio de 74, 71 y 75, en vacas Holstein de 1, 2 y 3 o más partos, respectivamente (Eicker *et al.*, 1996). Finalmente, los días a primer servicio en dos grupos de animales (71.2 y 79.2 días) reportados por Darwash *et al.* (1997), son menores a los encontrados en este trabajo; debe aclararse que, los animales del segundo grupo (79.2 días al primer servicio) fueron sometidos a tratamiento y atención médica durante el periodo experimental; con todo y eso estos autores reportaron diferencias ( $P < 0.01$ ) en los días al primer servicio, en una población de 1249 vacas lecheras British Friesian. Recientemente, Campbell *et al.* (1999) reportaron el primer servicio en ganado lechero, a los  $82.0 \pm 4.9$  y  $74.0 \pm 4.5$  días, en vacas suplementadas y no suplementadas con minerales traza (Co, Cu, Mn y Zn).

## 5. DIÁMETRO DEL FOLÍCULO OVULATORIO

El diámetro máximo del folículo dominante es el diámetro del folículo en estado ovulatorio el día de la luteólisis (Lucy *et al.*, 1992); estos autores reportaron en trabajos previos, valores de  $16.0 \pm 1.0$  mm en el diámetro del folículo ovárico más grande en vacas lecheras; posteriormente, Adams *et al.* (1993) reportaron un valor de  $16.0 \pm 0.6$  mm en el diámetro máximo del folículo dominante en vaquillas Holstein, valores intermedios a los que fueron encontrados en el presente trabajo, aunque con mayor variación. De la misma



forma, se han reportado valores promedio de  $16.6 \pm 0.3$  mm en el tamaño del folículo ovulatorio, ligeramente mayor en vacas (17.2 mm) que en vaquillas (15.9 mm) Holstein (CRR, 1996). Asimismo, Ginther *et al.* (1997) reportaron un promedio de  $16.4 \pm 0.5$  mm, en el diámetro máximo del folículo dominante al final del ciclo estral en vaquillas Holstein de 18 a 24 meses de edad. Por otra parte, los cambios en condición corporal afectan el tamaño de los folículos dominantes; en este sentido, Lents *et al.* (2000) reportaron que en vacas con una condición corporal cercana a 3, desarrollan folículos más grandes (15 mm) que vacas por arriba o por abajo de esa condición (13.4 y 13.7 mm, respectivamente). Es claro que, por medio de ultrasonografía, es posible conocer con exactitud el tamaño del folículo ovulatorio el día del celo. Esto tiene la ventaja de poder descartar entre un folículo "sano" y uno de origen patológico, toda vez que, folículos más grandes, o se trata de quistes foliculares o de folículos persistentes; en cualquiera de estos casos, la probabilidad de ovulación es menor, así como su capacidad de ser fertilizados una vez que han ovulado (Revah y Butler, 1996). El diámetro del folículo ovulatorio reportado por Sartori *et al.* (2000) fue de 13.1 a 17.4 mm en vacas y vaquillas Holstein; estos autores encontraron además que, los folículos ovulatorios más pequeños fueron encontrados en animales con más de un folículo dominante.

## 6. OVULACIONES AL PRIMER ESTRO

El porcentaje de ovulaciones al primer estro no fue diferente ( $P > 0.05$ ) al compararlo por número de parto o época del año; sin embargo, es mayor la frecuencia de ovulaciones en animales de 1 parto en cualquiera de las dos épocas (90 % o más) comparado con la frecuencia encontrada en animales de 2 o más partos (80 % o menos). Estos últimos resultados coinciden con los que fueron reportados por Walker *et al.* (1996). Estos autores encontraron que el 22.09 % de las vacas que mostraron estro, no llegaron a ovular; en otro trabajo que llevaron a cabo estos mismos autores, reportaron un porcentaje mayor (26.9 %) de vacas que no ovularon, cuando fueron sometidas a un programa de sincronización de calores utilizando PGF2 $\alpha$ . Lo anterior puede explicar, en parte, la baja tasa de concepción que se alcanza con este tipo de programas de manejo reproductivo, cuando se utilizan en bovinos lecheros.



## 7. OVULACIONES SIN ESTRO

La incidencia de ovulaciones sin estro al inicio del periodo posparto es muy alta; en este sentido, Savio *et al.* (1990a) reportaron un 94 % de ovulación silenciosa del primer folículo dominante; sin embargo, a medida que avanza el periodo posparto, dicha incidencia es menor, y es común encontrar que el porcentaje de ovulaciones en los primeros celos, puede ser mayor al 80 % (Allrich, 1994). En resultados previos del presente trabajo de investigación, se encontró que más del 70 % de vacas manifiestan ovulación silenciosa de su primer folículo dominante; sin embargo, el porcentaje de ovulaciones al primer estro, reportado en los cuadros 2 y 3, fue del 80 y del 90 % en vacas adultas y de un parto, respectivamente.

## 8. QUISTE FOLICULAR

La incidencia de quistes foliculares fue diferente ( $p < 0.05$ ) por número de parto, siendo más frecuente en vacas de 2 o más partos; por otro lado, la época no influyó significativamente ( $p > 0.05$ ) en la manifestación de este tipo de estructuras. Lo anterior está en desacuerdo con los resultados de Garverick (1997); este autor reportó que esta condición está en función de desbalances hormonales, herencia, estacionalidad y producción de leche; también se ha establecido que la incidencia de quistes foliculares se debe a la falta de una oleada de GnRH-LH (Gumen *et al.*, 2000) y a altas concentraciones de progesterona durante el desarrollo final del folículo ovulatorio (Hatler *et al.*, 2000; Silvia *et al.*, 2000). La incidencia de esta condición se ha reportado entre 5.6 y 18.8 %, valores cercanos a los encontrados en el presente trabajo. Las vacas con quiste folicular generalmente extienden el intervalo entre partos a 16 meses o más; tardan entre 50 y 60 días más en recibir un servicio de inseminación, y el periodo desde el diagnóstico del quiste a la desaparición del mismo va de 40 a 50 días (Garverick, 1997). Los quistes foliculares son estructuras dinámicas que se manifiestan en ondas foliculares, muy similar al desarrollo de ondas de crecimiento y desarrollo folicular normal; una particularidad de los quistes foliculares es que retornan cada 13 días en lugar de los 8.5 días en que lo hace un folículo normal, permanecen por más tiempo, y son estructuras anovulatorias, que producen pequeñas cantidades de progesterona, una vez que se lleva a cabo su luteinización (Cook *et al.*, 1990; Calder *et al.*, 1999).

## 9. METRITIS

La incidencia de metritis no es diferente ( $P>0.05$ ) por número de parto; sin embargo, la época del año tuvo una influencia importante ( $P<0.05$ ) en la presentación de metritis, lo que podría explicar, en parte, el pobre comportamiento reproductivo del ganado lechero en la época más caliente del año; los valores de 18.3 % en la incidencia de metritis reportados por Loeffler *et al.* (1999) en vacas lecheras en Holanda, son inferiores a los encontrados en el presente trabajo; en cualquiera de los dos casos, la incidencia puede ser considerada como alta.

## 10. QUISTE LUTEAL

La incidencia quiste luteal, más frecuente en vacas de 2 o más partos (cuyo parto fue registrado en los meses más fríos del año y su ocurrencia fue detectada en los primeros 60 días posparto, al inicio de la primavera) puede ser considerada como alta, si se compara con la frecuencia de 11.3 % reportada por Chang (1998).

## 11. DETECCIÓN DE CALORES Y COMPORTAMIENTO REPRODUCTIVO EN GANADO LECHERO

La detección oportuna de los primeros signos de estro, es el factor más limitante en el éxito o fracaso de la inseminación artificial en ganado lechero (Heersche y Nebel, 1994; Pecsok *et al.*, 1994; Senger, 1994; Gil *et al.*, 1997). El cuadro 5 muestra el porcentaje de incremento en el número de servicios ofrecidos en un mismo establo en dos periodos consecutivos de 6 meses cada uno; la diferencia ( $p<0.01$ ) de un periodo a otro es del 36.4 % en el número de servicios de inseminación.

**Cuadro 5. Servicios ofrecidos en 2 periodos consecutivos de 6 meses.**

| Periodo           | No. de servicios | % de incremento <sup>1</sup> |
|-------------------|------------------|------------------------------|
| Jul – Dic de 1998 | 211 a            | -                            |
| Ene – Jun de 1999 | 320 b            | 36.4                         |

<sup>1</sup> Con relación al número de servicios ofrecidos en el periodo de Jul-Dic-1998.



El cuadro 6 muestra el incremento en el número de partos registrados en 2 periodos similares de tiempo en 2 años consecutivos; la diferencia ( $p < 0.01$ ) de 51.3 % en el número de partos fue el resultado, en parte, de mejorar la eficiencia y precisión en la detección de calores, y de ofrecer un servicio de inseminación artificial, lo más oportuno posible. Parte de estos resultados podrían ser atribuidos también, al interés constante por mejorar la alimentación, la salud y el confort del ganado (Campbell *et al.*, 1999).

**Cuadro 6. Partos registrados en 2 periodos similares de 2 años consecutivos.**

| Periodo             | No. de partos | % de incremento <sup>1</sup> |
|---------------------|---------------|------------------------------|
| Oct-1998 a May-1999 | 88 a          | -                            |
| Oct-1999 a May-2000 | 148 b         | 51.3                         |

<sup>1</sup> Con relación al número de partos registrados en el periodo de Oct-1998 a May-1999.

Las diferencias en el número de servicios ofrecidos y partos registrados a dos poblaciones y dos periodos consecutivos, se probó mediante el estadístico "z" (Christensen, 1994); el valor de "z" de tablas, para una población infinita, es de 2.576, con un nivel de significancia de 0.01. Los valores de "z" calculados para servicios ofrecidos y partos registrados fueron de 13.4 y 4.05, respectivamente. De lo anterior se concluye que, tanto el número de servicios ofrecidos, como el número de partos registrados son diferentes ( $P < 0.01$ ) en las 2 poblaciones y los 2 periodos de medición. En la producción lechera, es fundamental el papel que juega cada vaca en el comportamiento reproductivo del hato. Del aprovechamiento de cada periodo fisiológico de la vaca dependerá el éxito de la empresa lechera. El productor deberá convencerse que sus vacas deben parir cada 12 o 13 meses, con el menor gasto de semen posible; el logro de este objetivo dependerá, en parte, del buen manejo del periodo puerperal, y del periodo de plena actividad sexual de las vacas; en esta etapa, tendremos unas 3 oportunidades para preñar la mayor cantidad de vacas, si es que nuestra meta es lograr 12 o 13 meses de intervalo entre partos. Para esto último, es necesario destinar buena cantidad de recursos en la detección de calores durante las 24 h del día. Este seguimiento nos permite analizar la presentación de estros en distintas épocas del año, a diferentes horas del día, y la fertilidad de los celos en las distintas horas de presentación; la inseminación debe llevarse a cabo lo más cercano posible a las 12 h de iniciado el celo (Murray, 2000).



El horario más importante en la detección de celos es el que va de la 1:00 a las 6:00 de la mañana, y el segundo periodo importante, es el de las 18:00 a las 24:00 h; lo anterior indica que existe un periodo único de detección, de 12 h consecutivas, desde las 18:00 pm de un día, hasta las 6:00 am del día siguiente. La detección de calores no sólo es identificar a la vaca en estro, el secreto está en saber el momento exacto de su inicio; la detección nocturna es la más importante, el tiempo de detección-inseminación debe ser de 9-12 h para máxima fertilidad, y no inseminar en un solo periodo durante el día, evitando inseminar vacas que estén preñadas de un servicio anterior, en un tiempo menor de 30 días; en este caso, es muy probable la ocurrencia de muerte embrionaria (Nebel *et al.*, 1994; Murray, 2000; Sturman *et al.*, 2000).

La baja eficiencia reproductiva trae como consecuencia una pérdida anual de 116 dólares (U.S.). El beneficio económico que implica un incremento del 5 % en el porcentaje de concepción, aumenta los ingresos en 1,226 dls; más aun, disminuir los días a primer servicio de 80 a 60 días, aumentar la eficiencia en la detección de calores a un 60 %, y aumentar el porcentaje de concepción de 35 a 50 %, combinados arrojan un incremento de 18,845 dls. Aunque estos beneficios son muy atractivos, las causas específicas del bajo rendimiento reproductivo, mencionadas líneas arriba, no son resueltas tan fácilmente (Stevenson, 2000b). De lo anterior se concluye que, la preparación de técnicos en inseminación artificial es compleja, y debe ir más allá de la simple técnica, la cual, sin embargo, debe ser re-examinada periódicamente, sin perder la perspectiva de la combinación de factores que inciden en los porcentajes de concepción, particularmente durante el primer servicio (Navarro, 2000).

## 12. DISCUSIÓN GENERAL

La producción de leche tiene un efecto adverso sobre la fertilidad del ganado lechero, sobre todo en las primeras semanas de lactancia. Se ha demostrado que la disminución en el comportamiento reproductivo, está relacionada con la mayor producción de leche, a través de una menor tasa de concepción, y por la disminución de los síntomas estrales, lo que puede conducir a un mayor número de inseminaciones infértiles (Gordon, 1996).



La fertilidad de las vacas en los meses siguientes al parto, depende también, aunque en menor medida, de la involución del útero, y de que se restablezca su actividad ovárica (El-Din *et al.*, 1995). Por otra parte, el intervalo entre partos está en función de la longitud del periodo abierto, es decir, del tiempo que transcurra entre el parto y el primer celo (Darwash *et al.*, 1997), del número de ovulaciones ocurridas antes del primer servicio (Holt *et al.*, 1989), y de la tasa de concepción en los primeros servicios (Domecq *et al.*, 1997).

La vida útil de una vaca lechera se ha reducido en los últimos 30 años, y es muy común que no produzca leche en más de 3 lactancias antes de ser desechada por problemas reproductivos; así lo indican los resultados que reportan Settar y Weller (1999), quienes encontraron que más del 80 % de los animales en los hatos lecheros en Israel, no rebasan los 3.5 años de edad.

Los altos niveles de producción afectan el comportamiento reproductivo del ganado lechero; sin embargo, algunos autores reportan correlaciones bajas entre estas dos características (Roman *et al.*, 1999); mencionan también que al no estar determinada por efectos genéticos, la fertilidad de ganado depende más de mejorar en ambiente donde se desarrolla este tipo de ganado (Castillo-Juarez *et al.*, 2000); agregan que, se ha exagerado mucho cuando se atribuye el mal comportamiento reproductivo del ganado, al constante mejoramiento de la capacidad de producción de leche, ya que el control genético del comportamiento reproductivo, es extremadamente bajo (Hanser, 2000). Por el contrario, aseguran, deberíamos preocuparnos más por el límite que imponen la capacidad de consumo de los animales y la probabilidad de seguir aumentando la producción de leche, sin antes pensar en el desarrollo físico y fisiológico de la glándula mamaria, a tal punto, que soporte un plan de mejoramiento genético encaminado a seguir incrementando la producción, como ha sucedido en los últimos 40 años (Akers, 2000). La eficiencia reproductiva en ganado lechero depende pues, de una gran cantidad de factores ambientales, destacando el manejo durante el posparto temprano. Entre las prácticas de manejo de mayor importancia durante este periodo, sin lugar a dudas, se encuentra la eficiencia y la precisión en la detección de calores, después que la vaca se recupera del desbalance energético ocasionado por la alta producción de leche al inicio de su lactancia,



sin olvidar que los folículos que desarrollan durante el desbalance energético, ovulan alrededor de los 60 d posparto (en un 2º calor o posterior a él), lo cual puede tener alguna relación con las bajas tasas de concepción en los primeros servicios (Heuer *et al.*, 1999; Gwazdauskas *et al.*, 2000). Al mismo tiempo, se ha reportado que la probabilidad de concepción es menor a medida que aumentan los días en leche, hasta más o menos el 5º mes de lactancia, sobre todo en vacas de 5 o más lactancias (Cardoso *et al.*, 1999). Una vez que ha ocurrido por completo el proceso de involución uterina, alrededor de los 40 días posparto, y que ha reiniciado su actividad ovárica, la ocurrencia de periodos de estro sucederán de manera cíclica en la mayoría de las vacas; la diferencia en la presentación del primer calor con signos visibles, dependerá, por una parte, de la edad de la vaca, y por otro lado, del nivel de producción de leche de cada vaca en el hato, de su condición corporal al parto, y de los cambios en condición corporal al pico de producción de leche.

La eficiencia en la detección de calores consiste en la capacidad para detectar las vacas que se encuentran en celo en un tiempo determinado; por otro lado, la precisión en la detección de calores se refiere a la exactitud con que detectamos el momento de inicio de cada celo registrado (Heersche y Nebel, 1994). Asimismo, después del primer celo, una proporción muy alta de vacas son capaces de ovular, esto último queda de manifiesto por la presencia de estructuras lúteas a periodos regulares de alrededor de los 20 días.

La mayoría de las vacas que han reiniciado su actividad ovárica, son capaces de mantenerla a lo largo de su lactancia. No obstante, en algunos animales es más frecuente la incidencia de ovulaciones silenciosas, ovulación de folículos con oocitos de menor calidad (Walters *et al.*, 2000), estros anovulatorios, desarrollo de quistes foliculares, cuerpos lúteos persistentes e incidencia de metritis; todas estas situaciones, en conjunto, retrasan de alguna forma, el comportamiento reproductivo de ganado lechero. El manejo reproductivo durante el posparto temprano, debe estar encaminado a valorar la situación de cada vaca en el hato, e implementar estrategias de manejo que resuelvan cada problema, para evitar el desecho de animales por problemas reproductivos, que no son otra cosa que problemas con el manejo que recibe el ganado (Martínez, 2000).



## CONCLUSIONES

El establecimiento de la dinámica folicular en ganado lechero, depende de que se lleve a cabo el retorno a la actividad ovárica y el proceso de involución uterina; una vez ocurrido lo anterior, los periodos de celo ocurren de manera cíclica, cada 22 días, en el 85 % de las vacas.

El comportamiento reproductivo del ganado lechero no depende de aspectos genéticos, sino del manejo que reciben los animales durante el posparto temprano.

Entre las actividades de manejo más importantes que deben ser atendidas se encuentra la vigilancia del puerperio, la detección de calores y el servicio oportuno de inseminación artificial.

La capacitación y adiestramiento frecuentes del personal destinado a la detección de calores, y de los técnicos en inseminación artificial, son estrategias que el ganadero debe valorar si su meta es alcanzar un intervalo entre partos de 13 meses.

## RECOMENDACIONES

La dinámica folicular debe ser monitoreada con la frecuencia que el técnico estime conveniente en cada establo y para cada situación en particular; sin embargo, puede ser conveniente tomar en cuenta lo siguiente:

Programar 2 palpaciones, a los 10 y 20 días posparto, para evaluar el proceso de involución uterina.

Programar, asimismo, 4 palpaciones, a los 20, 30, 40 y 50 días posparto, para evaluar el reinicio de la actividad ovárica.

Llevar a cabo el tratamiento oportuno de los padecimientos propios del posparto, entre los que destacan, metritis y quistes ováricos.

Implementar un programa para mejorar la eficiencia y precisión en la detección de calores.

Capacitación frecuente del personal, en las técnicas básicas de inseminación artificial.

El protocolo para llevar a cabo el servicio de inseminación debe contemplar lo siguiente:

Condición corporal mínima de 2.5.

La vaca debe pasar el pico de producción.

Periodo de espera voluntario de acuerdo a cada vaca.

Con detección de 2 estros anteriores.

Longitud del ciclo interestrual de 18-24 días.

Tamaño del folículo ovulatorio de 16 mm en promedio.

Inseminación 12 h después de la detección.

Descongelación a 36° C por 20 s.

Depósito en cuerpo del útero.

Programación para nuevos celos.



## LITERATURA CITADA

- Adams, G. P., R. L. Matteri and O. J. Ginther. 1992a. Effect of progesterone on ovarian follicles, emergence of follicular waves and circulating follicle-stimulating hormone in heifers. *J. Reprod. Fertil.* 95:627-640
- Adams, G. P., R. L. Matteri, J. P. Kastelic, J. C. H. Ko and O. J. Ginther. 1992b. Association between surges of follicle-stimulating hormone and the emergence of follicular waves in heifers. *J. Reprod. Fertil.* 94:177-188
- Adams, G. P., K. Kot, C. A. Smith and O. J. Ginther. 1993. Selection of a dominant follicle and suppression of follicular growth in heifers. *Anim. Reprod. Sci.* 30: 259-271
- Akers, R. M. 2000. Selection for milk production from a lactation biology viewpoint. *J. Dairy Sci.* 83:1151-1158
- Albright, J. L. and C. W. Arave. 1997. Reproductive Behaviour. *In: The Behaviour of Cattle.* CABI. Wallingford, Inglaterra. pp: 89-94
- Allrich, R. D. 1994. Endocrine and neural control of estrus in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:2738-2744
- Arthur, H., D. E. Noakes y H. Pearson. 1991. Reproducción y Obstetricia en Veterinaria. 6ª edición. Ed. Interamericana McGraw-Hill. Madrid, España.
- Arreguín, J. A. A., R. E. Santos, A. Villa-Godoy y H. Román-Ponce. 1997. Dinámica folicular ovárica en vacas Cebú con diferente condición corporal y frecuencia de amamantamiento durante el periodo anovulatorio posparto. *In: Memorias del VII Curso internacional de Reproducción Bovina.* Academia de Investigación en Biología de la Reproducción, A. C. Centro Médico Nacional. "Siglo XXI". México, D. F. 19 al 22 de Mayo de 1997. pp: 213-216
- Austin, E. J., M. Mihn, M. P. Ryan, D. H. Williams and J. F. Roche. 1999. Effect of duration of dominance of the ovulatory follicle on onset of estrus and fertility in heifers. *J. Anim. Sci.* 77:2219-2226
- Baca, F. J. R., E. Pérez G. y C. S. Galina H. 1998. Comportamiento reproductivo de novillas *Bos taurus* x *Bos indicus* inseminadas artificialmente a estro natural en el trópico seco en Costa Rica. *Vet. Mex.* 29:57-66
- Badinga, L., R. J. Collier, C. J. Wilcox and W. W. Thatcher. 1985. Interrelationships of milk yield, body weight and reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 68:1828-1831
- Baird, D. T. 1992. Luteotropic control of the corpus luteum. *Anim. Reprod. Sci.* 28:95-102

- Bergfeld, E. G., F. N. Kojima, M. E. Wehrman, A. S. Cupp, K. E. Peters, V. Mariscal, T. Sanchez, R. J. Kittok, M. Garcia-Winder and J. E. Kinder. 1995. Frequency of luteinizing hormone pulses and circulating 17  $\beta$ -oestradiol concentration in cows is related to concentration of progesterone in circulation when the progesterone comes from either an endogenous or exogenous source. *Anim. Reprod. Sci.* 37:257-265
- Bergfelt, D. R., J. P. Kastelic and O. J. Ginther. 1991. Continued periodic emergence of follicular waves in non-bred progesterone-treated heifers. *Anim. Reprod. Sci.* 24:193-204
- Bodensteiner, K. J., M. C. Wiltbank, D. R. Bergfelt, and O. J. Ginther. 1996. Alterations in follicular estradiol and gonadotropin receptors during development of bovine antral follicles. *Theriogenology*. 45:499-512
- Boland, M. P., M. G. Murphy and J. F. Roche. 1990. The use of ultrasound to monitor ovarian function in farm animals. *Agb. News and Inf.* 2:841-844
- Bono, G. 1997. Lactation and the resumption of reproductive activity during the postpartum period in high yielding dairy cows. *Production Animal Science*. 13:19-29
- Braw-Tal, R. and S. Yossefi. 1997. Studies in vivo and in vitro on the initiation of follicle growth in the bovine ovary. *J. Reprod. Fertil.* 109:165-171
- Britt, J. H. 1985. Enhanced reproduction and its economic implications. *J. Dairy Sci.* 68:1585-1592
- Burns, P. D. and J. C. Spitzer. 1992. Influence of bioestimulation on reproduction in postpartum beef cows. *J. Anim. Sci.* 70:358-362
- Butler, W. R., R. W. Everett and C. E. Coppock. 1981. The relationship between energy balance, milk production and ovulation in postpartum Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 53:742-747
- Butler, W. R. and R. D. Smith. 1989. Interrelationship between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 72:767-783
- Calder, M. D., B. E. Salfen, B. Bao, R. S. Youngquist and H. A. Garverick. 1999. Administration of progesterone to cows with ovarian follicular cysts results in a reduction in mean LH and LH pulse frequency and initiates ovulatory follicular growth. *J. Anim. Sci.* 77:3037-3042
- Campbell, M. H., J. K. Miller and F. N. Schrick. 1999. Effect of additional cobalt, copper, manganese, and zinc on reproduction and milk yield of lactating dairy cows receiving bovine somatotropin. *J. Dairy Sci.* 82:1019-1025



- Cardoso, V. L., J. R. Nogueira and J. A. M. Van Arendonk. 1999. Optimal replacement and insemination policies for Holstein cattle in the southeastern region of Brasil: The effect of selling animals for production. *J. Dairy Sci.* 82:1449-1458
- Castillo-Juarez, H., P. A. Oltenacu, R. W. Blake, C. E. McCulloch and E. G. Cienfuegos-Rivas. 2000. Effect of herd environment on the genetic and phenotypic relationships among milk yield, conception rate, and somatic cell score in Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* 83:807-814
- Chang, H. S., B. K. Kang, H. S. Choi, H. G. Kang, K. S. Oh, D. H. Seo and G. H. Suh. 1998. Development of differential diagnosis and treatment method of reproductive disorders using ultrasonography in cows. II. Differential diagnosis of sub-estrous dairy cows. *Korean Journal of Veterinary Clinical Medicine.* 15:307 (Abstr.)
- Christensen, H. B. 1994. *Estadística Paso a Paso*. Editorial Trillas. México. pp: 465-468
- Clapper, J. A., J. S. Ottobre, A. C. Ottobre and D. L. Zartman. 1990. Estrual rise in body temperature in the bovine I. Temporal relationships with serum patterns of reproductive hormones. *Anim. Reprod. Sci.* 23:89-98
- Coleman, D. A., W. V. Thayne and R. A. Dailey. 1985. Factors affecting reproductive performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 68:1793-1803
- Cook, D. L., C. A. Smith, J. R. Parfet, R. S. Youngquist, E. M. Brown and H. A. Garverick. 1990. Fate and turnover rate of ovarian follicular cysts in dairy cattle. *J. Reprod. Fertil.* 90:37-46
- Cooperative Regional Research (CRR). Project EN-161. 1996. Relationship of fertility to patterns of ovarian follicular development and associated hormonal profiles in dairy cows and heifers. *J. Anim. Sci.* 74:1943-1952
- Craswell, B. 1996. Estrategias para un cruzamiento exitoso. *Revista México-Holstein*. Julio de 1996. pp: 11-13
- Cupp, A. S., T. T. Stumpf, F. N. Kojima, L. A. Werth, M. W. Wolfe, M. S. Roberson, R. J. Kittok and J. E. Kinder. 1995. Secretion of gonadotrophins change during the luteal phase of the bovine oestrous cycle in the absence of corresponding changes in progesterone or 17  $\beta$ -oestradiol. *Anim. Reprod. Sci.* 37:109-119
- Darwash, A. O., G. E. Lamming and J. A. Woolliams. 1997. The phenotypic association between the interval to post-partum ovulation and traditional measures of fertility in dairy cattle. *Anim. Sci.* 65:9-16
- Dematawewa, C. M. B. and P. J. Berger. 1997. Effect of dystocia on yield, fertility, and cow losses and an economic evaluation of dystocia scores for Holsteins. *J. Dairy Sci.* 80:754-761



- De Vries, M. J., S. Van Der Beek, L. M. T. E. Kaal-Lansbergen, W. Ouweltjes and J. B. M. Wilmink. 1999. Modeling of energy balance in early lactation and the effect of energy deficits in early lactation on first detected estrus postpartum in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:1927-1934
- Domecq, J. J., A. L. Skidmore, J. W. Lloyd and J. B. Kannene. 1997. Relationship between body condition scores and conception at first artificial insemination in a large dairy herd on high yielding Holsteins cows. *J. Dairy. Sci.* 80:113-120
- Dozier, L. V. and J. H. Britt. 1990. Influence of footing surface on mounting and other sexual behaviors of estrual Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 68:2333-2339
- Draper, J. C. y F. J. Gibson. 1996. Cómo elevar al máximo el desempeño reproductivo de la vaca lechera. *Revista México-Holstein.* Julio de 1996. pp: 26-27
- Driancourt, M. A. 1991. Follicular dynamics in sheep and cattle. *Theriogenology.* 35:55-79
- Driancourt, M. A. 1999. Crecimiento Folicular en los Animales Domésticos. In: Memoria del Curso Internacional "Fisiología de la Reproducción en Pequeños Rumiantes". 8, 9 y 10 de Sep. de 1999. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. pp: 84-87
- Duffy, P., M. A. Crowe, M. P. Boland and J. F. Roche. 2000. Effect of exogenous LH pulses on the fate of the first dominant follicle in postpartum beef cows nursing calves. *J. Reprod. Fertil.* 118:9-17
- Edmondson, A. J., R. A. Fissore, R. L. Pashen and R. H. Bondurant. 1986. The use of ultrasonography for the study of the bovine reproductive tract. I. Normal and pathological ovarian structures. *Anim. Reprod. Sci.* 12:157-165
- Edmondson, A. J., I. R. Lean, L. D. Weaver, T. Faver and G. Webster. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:68-78
- Eicker, S. W., Y. T. Grohn and J. A. Hertl. 1996. The association between cumulative milk yield, days open, and days to first breeding in New York Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 79:235-241
- El-Din, Z. A. T., T. Nakao, M. Abdel Raouf, M. Moriyoshi, K. Kawata and Y. Moristu. 1995. Factors in the resumption of ovarian activity and uterine involution in postpartum dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.* 38:203-214
- Everit, B. S. and G. Der. 1996. A Handbook of Statistical Analyses Using SAS. Edit. Chapman & Hall. Londres, Inglaterra. 158 p.
- Fissore, R. A., A. J. Edmondson, R. L. Pashen and R. H. Bondurant. 1986. The use of ultrasonography for the study of the bovine reproductive tract. II. Non-pregnant, pregnant and pathological conditions of the uterus. *Anim. Reprod. Sci.* 12:167-177



- Flint, A. P. F., E. L. Sheldrick, T. J. McCann and D. S. C. Jones. 1990. Luteal oxytocin: characteristics and control of synchronous episodes of oxytocin and PGF2 $\alpha$  secretion at luteolysis in ruminants. *Dom. Anim. Endoc.* 7:111-124
- Fonseca, F. A., J. H. Britt, B. T. McDaniel, J. C. Wilk and A. H. Rakes. 1983. Reproductive traits of Holsteins and Yerseys. Effects of age, milk yield, and clinical abnormalities on involution of cervix and uterus, ovulation, estrous cycles, detection of estrus, conception rate, and days open. *J. Dairy Sci.* 66:1128-1147
- Fortune, J. E. 1993. Follicular dynamics during the bovine estrous cycle: A limiting factor in improvement of fertility? *Anim. Reprod. Sci.* 33:111-125
- Foxcroft, G. R. 1993. Female Reproduction. In: *Reproduction in Domesticated Animals*. Cap. 6. World Animal Science. B9. Edited by G. J. King. Elsevier Science Publishers. University of Guelph, Ontario, Canada. 18 p.
- Gallagher, G. R. and P. L. Senger. 1989. Concentrations of spermatozoa in the vagina of heifers after deposition of semen in the uterine horns, uterine body or cervix. *J. Reprod. Fert.* 86:19-25
- Gallegos, S. J., P. Pérez H. y A. Albarrán De La Ll. 1999. Neuroendocrinología del Ciclo Estral de la Oveja. In: *Memoria del Curso Internacional "Fisiología de la Reproducción en Pequeños Rumiantes"*. 8, 9 y 10 de Septiembre de 1999. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Méx. pp: 9-18
- García, E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. UNAM. México. 220 p.
- Garverick, H. A. 1997. Ovarian follicular cysts in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:995-1004
- Gearhart, M. A. and C. R. Curtis. 1990. Relationship of changes in condition score to cow health in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 73:3132-3140
- Geisert, R. D., E. C. Short and M. T. Zavy. 1992. Maternal recognition of pregnancy. *Anim. Reprod. Sci.* 28:287-298
- Gil, Z., J. Szarek and J. Kural. 1997. Detection of silent oestrus in dairy cows by milk temperature measurement. *Anim. Sci.* 65:25-29
- Ginther, O. J. 1993. A method for characterizing ultrasonically derived follicular data in heifers. *Theriogenology*. 39:363-371
- Ginther, O. J., J. P. Kastelic and L. Knopf. 1989a. Composition and characteristics of follicular waves during the bovine estrous cycle. *Anim. Reprod. Sci.* 20:187-200

- Ginther, O. J., L. Knopf and J. P. Kastelic. 1989b. Temporal associations among ovarian events in cattle during oestrous cycles with two and three follicular waves. *J. Reprod. Fert.* 87:223-230
- Ginther, O. J., M. C. Wiltbank, P. M. Fricke, J. R. Gibbons and K. Kot. 1996. Selection of the dominant follicle in cattle. *Biol. of Reprod.* 55:1187-1194
- Ginther, O. J., K. Kot, L. J. Kulick and M. C. Wiltbank. 1997. Sampling follicular fluid without altering follicular status in cattle: oestradiol concentrations early in a follicular wave. *J. Reprod. Fert.* 109:181-186
- Gong, J. G. and R. Webb. 1996. Control of ovarian follicle development in domestic ruminants: Its manipulation to increase ovulation rate and improve reproductive performance. *Anim. Bred. Abs.* 64:195-204
- Gordon, I. 1996. Reproducción Controlada del Ganado Vacuno y Búfalos. CABI. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 514 p.
- Gumen, A., R. Sartori, F. Costa and M. C. Wiltbank. 2000. Development of follicular cysts in cattle is due to an estradiol-induced GnRH/LH surge without subsequent progesterone exposure. *J. Dairy Sci.* 83(Suppl. 1):211 (Abstr.)
- Gutiérrez, A. C. 2000. Dinámica y etiología de los quistes foliculares en ganado lechero post-parto. In: Memoria del VIII Curso Internacional de Reproducción Bovina. 15 al 18 de Mayo del 2000. FMVZ. UNAM. México. pp: 14-16
- Gwazdauskas, F. C., K. W. Kendrick, A. W. Pryor and T. L. Bailey. 2000. Impact of follicular aspiration on folliculogenesis as influenced by dietary energy and stage of lactation. *J. Dairy Sci.* 83:1625-1634
- Hanser, L. B. 2000. Consequences of selection for milk yield from a geneticist's viewpoint. *J. Dairy Sci.* 83:1145-1150
- Hafez, E. S. E. 1978. Reproducción de los Animales de Granja. Segunda edición. Editorial Herrero, S. A. México. 655 p.
- Hafez, E. S. E. 1996. Reproducción e Inseminación Artificial en Animales. Sexta edición. Editorial Interamericana-McGraw Hill. México. 542 p.
- Hamilton, S. A., H. A. Garverick, D. H. Keisler, Z. Z. Xu, K. Loos, R. S. Youngquist and B. E. Salfen. 1995. Characterization of ovarian follicular cysts and associated endocrine profiles in dairy cows. *Biol. of Reprod.* 53:890-898
- Hatler, T. B., D. W. Yelton, S. H. Hayes, A. M. Nugent and W. J. Silvia. 2000. Concentrations of progesterone in lactating dairy cows with ovarian follicular cysts. II. Relationships to subsequent follicular development. *J. Dairy Sci.* 83(Suppl. 1):215 (Abstr.)



- Heersche, G. Jr. and R. L. Nebel. 1994. Measuring efficiency and accuracy of detection of estrus. *J. Dairy Sci.* 77:2754-2761
- Hernández, C. J. 1997. Cuerpos lúteos de vida corta en la vaca: desarrollo, causas y efecto sobre la fertilidad. In: Memoria del VII Curso Internacional de Reproducción Bovina. Academia de Investigación en Biología de la Reproducción. A. C. Centro Médico Nacional "Siglo XXI". 19 al 22 de Mayo de 1997. México, D. F. pp: 272-275
- Heuer, C., Y. H. Schukken and P. Dobbelaar. 1999. Postpartum body condition score and results from the first test day milk as predictors of disease, fertility, yield, and culling in commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.* 82:295-304
- Holt, L. C., W. D. Whittier, F. C. Gwazdauskas and W. E. Vinson. 1989. Early postpartum reproductive profiles in Holstein cows with retained placenta and uterine discharges. *J. Dairy Sci.* 72:533-539
- Holy, L. 1986. Bases Biológicas de la Reproducción Bovina. Edit. Diana. México. 464 p.
- Howard, H. J., D. E. Morbeck and J. H. Britt. 1990. Extensión of oestrous cycles and prolonged secretion of progesterone in non-pregnant cattle infused continuously with oxytocin. *J. Reprod. Fertil.* 90:493-502
- Hunter, M. G. 1991. Characteristics and causes of the inadequate corpus luteum. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 43:77-89
- Infante, G. S. y G. P. Zárate De L. 1983. Métodos Estadísticos. Un enfoque interdisciplinario. Edit. Trillas. México. 643 p.
- Ireland, J. J. 1987. Control of follicular growth and development. *J. Reprod. Fertil. Suppl.* 34:39-54
- Ireland, J. J., M. Mihm, E. Austin, M. G. Diskin and J. F. Roche. 2000. Historical perspective of turnover of dominant follicles during the bovine estrous cycle: key concepts, studies, advancements, and terms. *J. Dairy Sci.* 83:1648-1658
- Johnson, D. E. 1998. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Soluciones empresariales. Internacional Thomson Editores. Universidad de Kansas. USA. Capítulos 7-8. pp: 217-294
- Joosten, I. and E. J. Hensen. 1992. Retained placenta: an immunological approach. *Anim. Reprod. Sci.* 28:451-461
- Juengel, J. L., G. W. Smith, M. F. Smith, R. S. Youngquist and H. A. Garverick. 1994. Pattern of protein production by bovine corpora lutea during luteolysis and characterization of expression of two major secretory products of regressing corpora lutea. *J. Reprod. Fertil.* 100:515-520

- Kahn, W. 1992. Ultrasonography as a diagnostic tool in female animal reproduction. *Anim. Reprod. Sci.* 28:1-10
- Karsch, F. J., S. M. Moenter and A. Caraty. 1992. The neuroendocrine signal for ovulation. *Anim. Reprod. Sci.* 28:329-341
- Kiddy, CH. A. and D. S. Mitchell. 1981. Estrus-related odors in cows: time of occurrence. *J. Dairy Sci.* 64:267-271
- Kindahl, H., K. Odensvik, S. Aiumlamai and G. Fredriksson. 1992. Utero-ovarian relationships during the bovine postpartum period. *Anim. Reprod. Sci.* 28:363-369
- Ko, J. C. H., J. P. Kastelic, M. R. Del Campo and O. J. Ginther. 1991. Effects of a dominant follicle on ovarian follicular dynamics during the oestrous cycle in heifers. *J. Reprod. Fert.* 91:511-519
- Laing, J. A., W. J. B. Morgan y W. C. Wagner. 1991. Fertilidad e Infertilidad en la Práctica Veterinaria. Cap. 6. Anestro e infertilidad en la vaca. 4ª. Edic. Interamericana-Mc Graw Hill. España. 296 p.
- Lamming, G. E. and G. E. Mann. 1995. Control of endometrial oxytocin receptors and prostaglandin F2 $\alpha$  production in cows by progesterone and oestradiol. *J. Reprod. Fertil.* 103:69-73
- Law, A. S., G. Baxter, D. N. Logue, T. O'shea and R. Webb. 1992. Evidence for the action of bovine follicular fluid factors other than inhibin in suppressing follicular development and delaying oestrus in heifers. *J. Reprod. Fertil.* 96:603-616
- Lehrer, A. R., G. S. Lewis and E. Aizinbud. 1992. Oestrus detection in cattle: recent developments. *Anim. Reprod. Sci.* 28:355-361
- Lents, C. A., F. J. White, D. L. Lalman and R. P. Wettemann. 2000. The effects of body condition and protein supplementation of postpartum beef cows on estrous behavior and follicle size. *J. Dairy Sci.* 83(Suppl. 1):212 (Abstr.)
- Lewis, G. S. 1997. Uterine health and disorders. *J. Dairy Sci.* 80:984-994
- Liu, X. and S. L. Spahr. 1993. Automated electronic activity measurement for detection of estrus in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 76:2906-2912
- Lobb, D. K. and J. Dorrington. 1992. Intraovarian regulation of follicular development. *Anim. Reprod. Sci.* 28:343-354
- Loeffler, S. H., M. J. De Vries and Y. H. Schukken. 1999. The effects of time of disease occurrence, milk yield, and body condition on fertility of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82:2589-2604



- Lucy, M. C. 2000. Regulation of ovarian follicular growth by somatotropin and insulin-like growth factors in cattle. *J. Dairy Sci.* 83:1635-1647
- Lucy, M. C., J. D. Savio, L. Badinga, R. L. De la Sota and W. W. Thatcher. 1992. Factors that affect ovarian follicular dynamics in cattle. *J. Anim. Sci.* 70:3615-3626
- Lucy, M. C., C. R. Staples, F. M. Michel and W. W. Thatcher. 1991. Energy balance and size and number of ovarian follicles detected by ultrasonography in early postpartum dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74:473-482
- Lussier, J. G., P. Matton and J. J. Dufour. 1987. Growth rates of follicles in the ovary of the cow. *J. Reprod. Fertil.* 81:301-307
- Mac Millan, K. L. and C. R. Burcke. 1996. Effects of oestrous cycle control on reproductive efficiency. *Anim. Reprod. Sci.* 42:307-320
- Mann, G. E., G. E. Lamming and J. H. Payne. 1998. Role of early luteal phase progesterone in control of the timing of the luteolytic signal in cows. *J. Reprod. Fertil.* 113:47-51
- Martínez, M. A. A. 2000. ¿Desecho reproductivo o desecho de manejo? *Hoard's Dairyman en Español*. Julio del 2000. p 431
- Mc Donald, L. E. y M. H. Pineda. 1991. Reproducción y Endocrinología Veterinarias. Trad. de la 4ª edición en Ingles. Interamericana. México, D. F. 551 p.
- Mihm, M., A. Baguisi, M. P. Boland and J. F. Roche. 1994. Association between the duration of dominance of the ovulatory follicle and pregnancy rate in beef heifers. *J. Reprod. Fertil.* 102:123-130
- Mortimer, R. G., M. D. Salman, M. Gutierrez and J. D. Olson. 1990. Effects of androgenizing dairy heifers with ear implants containing testosterone and estrogen on detection of estrus. *J. Dairy Sci.* 73:1773-1778
- Mosher, M. D., J. S. Ottobre, G. K. Haibel and D. L. Zartman. 1990. Estrual rise in body temperature in the bovine II. The temporal relationship with ovulation. *Anim. Reprod. Sci.* 23:99-107
- Murphy, B. D. y N. Pescador. 1997. Control de la Foliculogénesis Bovina por Factores Endocrinos y Paracrinos. In: Memoria del VII Curso Internacional de Reproducción Bovina. Academia de Investigación en Biología de la Reproducción. A. C. Centro Médico Nacional "Siglo XXI". 19 al 22 de Mayo de 1997. México, D. F. pp: 74-80
- Murray, R. 2000. La importancia del horario en la detección de celos. Congreso Mundial de la leche. Expo-Leche 2000. Querétaro, México. *Hoard's Dairyman en Español*. Julio del 2000. Supl.

- Nakao, T., M. Moriyoshi and K. Kawata. 1992. The effect of postpartum ovarian dysfunction and endometritis on subsequent reproductive performance in high and medium producing dairy cows. *Theriogenology*. 37:341-349
- Navarro, J. 2000. Mecánica de la Inseminación Artificial: El enfoque correcto. Congreso Mundial de la leche. Expo-Leche 2000. Querétaro, México. *Hoard's Dairyman en Español*. Julio del 2000. Supl.
- Nebel, R. L. and M. L. McGilliard. 1993. Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:3257-3268
- Nebel, R. L., W. L. Walker and M. L. McGilliard. 1994. Timing of artificial insemination of dairy cows: fixed time once daily versus morning and afternoon. *J. Dairy Sci.* 77:3185-3191
- Núñez, H. E. Y. y F. Ramírez V. 1995. Efecto del comportamiento reproductivo y productivo sobre el cambio genético de producción de leche. Tesis Profesional. Departamento de Zonas Áridas. Chapingo, México.
- Pate, J. L. and D. H. Townson. 1994. Novel local regulators in luteal regression. *J. Anim. Sci.* 72 (Suppl. 3):31-42
- Pedron, O., F. Cheli, E. Senatore, D. Baroli and R. Rizzi. 1993. Effect of body condition score at calving on performance, some blood parameter, and milk fatty acid composition in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76:2528-2535
- Pursley, J. R., R. W. Silcox and M. C. Wiltbank. 1998. Effect of time of artificial insemination on pregnancy rates, calving rates, pregnancy loss and gender ratio after synchronization of ovulation in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81:2139-2144
- Rajamahendran, R. and C. Taylor. 1990. Characterization of ovarian activity in postpartum dairy cows using ultrasound imaging and progesterone profiles. *Anim. Reprod. Sci.* 22:171-180
- Rebolledo, R. H. H. 2000. SAS en Microcomputadora. Análisis Estadístico de Datos Experimentales. Novena edición. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 177 p.
- Reid, I. M., C. J. Roberts, R. J. Treacher and L. A. Williams. 1986. Effect of body condition at calving on tissue mobilization, development of fatty liver and blood chemistry of dairy cows. *Anim. Prod.* 43:7-15
- Revah, I. and W. R. Butler. 1996. Prolonged dominance of follicles and reduced viability of bovine oocytes. *J. Reprod. Fertil.* 106:39-47
- Rhodes, F. M., G. De'ath and K. W. Entwistle. 1995. Animal y temporal effects on ovarian follicular dynamics in Brahman heifers. *Anim. Reprod. Sci.* 38:265-277



- Rhodes, F. M., L. A. Fitzpatrick, K. W. Entwistle and J. E. Kinder. 1995. Hormone concentrations in the caudal vena cava during the first ovarian follicular wave of the oestrous cycle in heifers. *J. Reprod. Fertil.* 104:33-39
- Roche, J. F., M. A. Crowe and M. P. Boland. 1992. Postpartum anoestrous in dairy and beef cows. *Anim. Reprod. Sci.* 28:371-378
- Roman, R. M., C. J. Wilcox and R. C. Littlell. 1999. Genetic trends for milk yield of Jerseys and correlated changes in productive and reproductive performance. *J. Dairy Sci.* 82:196-204
- Rosales, A. M. y A. Rosado. 1993. Bioquímica de la maduración folicular en el mamífero: III. Ovulación. *Ciencia.* 44:487-498
- Ruckebusch, Y., L. P. Phaneuf y R. Dunlop. 1994. Fisiología de Pequeñas y Grandes Especies. Edit. El Manual Moderno. México, D. F. 862 p.
- Ruiz-Cortés, Z. T. and M. Olivera-Angel. 1999. Ovarian follicular dynamics in suckled zebu (*Bos indicus*) cows monitored by real time ultrasonography. *Anim. Reprod. Sci.* 54:211-220
- Salfen, B. E., J. R. Cresswell, Z. Z. Xu, B. Bao and H. A. Garverick. 1999. Effects of the presence of a dominant follicle and exogenous oestradiol on the duration of the luteal phase of the bovine oestrous cycle. *J. Reprod. Fertil.* 115:15-21
- Sartori, R., J. Haughian, G. J. M. Rosa, R. D. Shaver and M. C. Wiltbank. 2000. Differences between lactating cows and nulliparous heifers in follicular dynamics, luteal growth, and serum steroid concentrations. *J. Dairy Sci.* 83(Suppl. 1):212 (Abstr.)
- Savio, J. D., M. P. Boland, N. Hynes and J. F. Roche. 1990a. Resumption of follicular activity in the early postpartum period of dairy cows. *J. Reprod. Fertil.* 88:569-579
- Savio, J. D., M. P. Boland and J. F. Roche. 1990b. Development of dominant follicles and length of ovarian cycles in postpartum dairy cows. *J. Reprod. Fertil.* 88:581-591
- Savio, J. D., W. W. Thatcher, L. Badinga, R. L. De la Sota and D. Wolfenson. 1993. Regulation of dominant follicle turnover during the oestrous cycle in cows. *J. Reprod. Fertil.* 97:197-203
- Senatore, E. M., W. R. Butler and P. A. Oltenacu. 1996. Relationships between energy balance and post-partum ovarian activity and fertility in first lactation dairy cows. *Anim. Sci.* 62:17-23
- Senger, P. L. 1994. The estrus detection problem: New conceptus, technologies and possibilities. *J. Dairy Sci.* 77:2745-2753

- Settar, P. and J. I. Weller. 1999. Genetic analysis of cow survival in the Israeli dairy cattle population. *J. Dairy Sci.* 82:2170-2177
- Short, R. G., R. A. Bellows, R. B. Staigmiller, J. G. Berardinelli and E. E. Custer. 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *J. Anim. Sci.* 68:799-816
- Silvia, W. J., L. F. Laranja da Fonseca and S. H. Hayes. 2000. Concentrations of progesterone in lactating dairy cows with ovarian follicular cysts. I. Formation of cysts during the early postpartum period. *J. Dairy Sci.* 83(Suppl. 1):215 (Abstr.)
- Sirois, J. and J. E. Fortune. 1988. Ovarian follicular dynamics during the estrous cycle by real-time ultrasonography. *Biol. of Reprod.* 39:308-317
- Sirois, J. and J. E. Fortune. 1990. Monitoring ovarian follicular development in cattle by ultrasound imaging: A 1990 update. *Embryo Transfer Newsletter.* 8:9-17
- Smith, J. F. and K. L. McMillian. 1980. Tail painting as an aid to estrus detection. *Anim. Breeding Abstr.* 48:874
- Souza, C. J. H., B. K. Campbell and D. T. Baird. 1997. Follicular dynamics and ovarian steroid secretion in sheep during the follicular and early luteal phases of the estrous cycle. *Biol. of Reprod.* 56:483-488
- Stevenson, J. S. 2000a. Programas de sincronización del estro y sincronización de la ovulación en ganado lechero. Congreso Mundial de la leche. Expo-Leche 2000. Querétaro, México. *Hoard's Dairyman en Español.* Julio del 2000. Supl.
- Stevenson, J. S. 2000b. Mejorando los porcentajes de preñez en ganado lechero: atención a los detalles. Congreso Mundial de la leche. Expo-Leche 2000. Querétaro, México. *Hoard's Dairyman en Español.* Julio del 2000. Supl.
- Stevenson, J. S. and E. P. Call. 1988. Reproductive disorders in the periparturient dairy cow. *J. Dairy Sci.* 71:2572-2583
- Sturman, H., E. A. B. Oltenacu, and R. H. Foote. 2000. Importance of inseminating only cows in estrus. *Theriogenology.* 53:1657-1667
- Sunderland, S. J., M. A. Crowe, M. P. Boland, J. F. Roche and J. J. Ireland. 1994. Selection, dominance and atresia of follicles during the oestrous cycle of heifers. *J. Reprod. Fert.* 101:547-555
- Swanson, L. V. 1989. Discussion – Interactions of nutrition and reproduction. *J. Dairy Sci.* 72:805-814
- Treacher, R. J., I. M. Reid and C. J. Roberts. 1986. Effect of body condition at calving on the health and performance of dairy cows. *Anim. Prod.* 43:1-6



- Turzillo, A. M. and J. E. Fortune. 1993. Effects of suppressing plasma FSH on ovarian follicular dominance in cattle. *J. Reprod. Fert.* 98:113-119
- Walker, W. L., R. L. Nebel and M. L. McGilliard. 1996. Time of ovulation relative to mounting activity in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 79:1555-1561
- Walters, A. H., T. L. Bailey, J. Strauss and F. C. Gwazdauskas. 2000. Follicular dynamics and oocyte quality during early lactation in Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* 83(Suppl. 1):200 (Abstr.)
- Waltner, S. S., J. P. McNamara and J. K. Hillers. 1993. Relationships of body condition score to production variables in high producing Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 76:3410-3419
- Williams, G. L. 1990. Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle: A review. *J. Anim. Sci.* 68:831-852.
- Williams, B. L., F. C. Gwazdauskas, W. D. Whittier, R. E. Pearson and R. L. Nebel. 1988. Impact of site of inseminate deposition and environmental factors that influence reproduction of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 71:2278-2283
- Wiltbank, M. C. and G. D. Niswender. 1992. Functional aspects of differentiation and degeneration of the steroidogenic cells of the corpus luteum in domestic ruminants. *Anim. Reprod. Sci.* 28:103-110
- Wood, P. D. P. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature.* 216:164-165
- Xu, Z., H. A. Garverick, G. W. Smith, M. F. Smith, S. A. Hamilton and R. S. Youngquist. 1995. Expression of follicle-stimulating hormone and luteinizing hormone receptor messenger ribonucleic acids in bovine follicles during the first follicular wave. *Biol. of Reprod.* 53:951-957
- Yacer, M. A., D. W. Webb and P. J. Hansen. 1999. Factors affecting seasonal variation in 90-day non return rate to first service in lactating Holstein cows in a hot climate. *J. Dairy Sci.* 82:2611-2616
- Zarco, Q. L. y J. Hernández C. 1997. Regresión Prematura del Cuerpo Lúteo y su Relación con la Mortalidad Embrionaria. *In: Memoria del Seminario Internacional "Tópicos Avanzados en Reproducción Animal". 12 de Septiembre de 1997. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Mex. pp: 59-63*
- Zarco, Q. L. y J. Hernández C. 2000. Función del Cuerpo Lúteo y Muerte Embrionaria en Rumiantes. *In: Memoria del VIII Curso Internacional de Reproducción Bovina. 15 al 18 de Mayo del 2000. FMVZ. UNAM. México. pp: 52-63*
- Zemjanis, R. 1990. *Reproducción Animal. Diagnóstico y Técnicas Terapéuticas.* Edit. Limusa. México. 253 p.