

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE  
MEXICO**

---

---

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

**INDUCCIÓN DE LA ACTIVIDAD OVARICA EN YEGUAS CRIOLLAS  
ANESTRICAS CON UN PROGRAMA DE FOTOPERIODO  
ARTIFICIAL EN LA LATITUD 19° 9`N**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS**

**PRESENTA**

**Luna María López Pérez**

**TUTOR: Luis Alberto Zarco Quintero  
COMITÉ TUTORAL: Carlos Gutiérrez Aguilar  
José Alfredo Medrano Hernández**

México D.F.

2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **DEDICATORIAS**

### **A Jesús**

Por haberme dado la oportunidad de tener una relación con Dios

### **A mi madre**

Por haberme dado su amor, su ejemplo, su esfuerzo, su comprensión y su tiempo

### **A mi hermana América**

Por tanto apoyo recibido de su parte y por todas sus oraciones

### **A mi tutor Luis Zarco**

Por haberme apoyado tanto en mi tesis, porque lo admiro y respeto y por todos sus expertos consejos

## **AGRADECIMIENTOS**

### **Doctora Myriam Boeta**

Por sus valiosas instrucciones y consejos durante todo este tiempo y por haber compartido conmigo sus conocimientos

### **Rancho San Francisco**

Especialmente al doctor Eugenio y sus trabajadores por su valiosa ayuda durante mi estancia en ese lugar

### **Departamento de Reproducción**

A todos y cada uno de los miembros de éste, pero muy especialmente a Anita, Susi, Clarita, Circe, Lulù, Dulce y Toño

### **Colaboradores**

Daniel y Claudia por su colaborar en la realización práctica de esta tesis

### **Compañeros de la Maestría**

Gilberto, Elías, Christian, Gloria, Carolina y Victorio, por haber compartido conmigo parte de sus conocimientos y tiempo.

## CONTENIDO

I. Resumen	8
II. Abstract	9
III. Introducción	10
IV. Revisión de Literatura	13
4.1. Etapa reproductiva (época ovulatoria)	13
4.1.1. Aspectos hormonales de la época reproductiva	14
4.1.2. Aspectos morfológicos	15
4.1.3 Aspectos conductuales	16
4.2. Transición al anestro	16
4.2.1. Aspectos hormonales de la transición al anestro	17
4.2.2. Aspectos morfológicos	17
4.3. Anestro (época anovulatoria)	18
4.3.1. Aspectos hormonales de la época anovulatoria	18
4.3.2. Aspectos morfológicos	19
4.3.3. Aspectos conductuales	19
4.4. Transición a la época reproductiva (primaveral)	20
4.4.1. Aspectos hormonales de la transición	20
4.4.2. Aspectos morfológicos	21
4.4.3. Aspectos conductuales	22
4.5. Fotoperiodo	23
4.5.1. Participación de la melatonina en el control de la estacionalidad reproductiva de la yegua	26

4.5.2. Efecto de otras hormonas sobre la estacionalidad reproductiva	28
4.6. Otros factores que influyen sobre la estacionalidad	29
4.6.1. Nutrición y condición corporal	30
4.6.2. Temperatura	30
4.6.3. Edad	30
4.7. Fotoperiodo artificial	31
4.7.1. Otros métodos para acortar el periodo de transición	34
V. Materiales y Métodos	35
5.1. Planeación y clasificación del estudio	35
5.2. Monitoreo de estros y dinámica folicular	36
5.3. Determinación de progesterona	36
5.4. Análisis estadístico	36
VI. Resultados	37
VII. Discusión y conclusiones	49
VIII. Literatura citada	54

## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1	Características del periodo anovulatorio de yeguas mantenidas en fotoperiodo natural y yeguas expuestas a fotoperiodo de 16 h luz y 8 h oscuridad	42
Cuadro 2.	Duración del periodo anovulatorio (días) en las yeguas del grupo testigo y del grupo experimental	43
Figura 4.1.	Asociación entre la latitud y la longitud del fotoperiodo a través de todo el año	42
Figura 4.2.	Control neuroendocrinológico de la secreción de melatonina bajo diferentes estímulos fotoperiodicos	27
Figura 5.1.	Esquema de la distribución de reflectores en los corrales de las yeguas experimentales	35
Figura 6.1.	Representación semanal del periodo de anestro y actividad ovárica en las yeguas del grupo control	38
Figura 6.2.	Representación semanal del periodo de anestro y actividad ovárica en las yeguas del grupo experimental	39
Figura 6.3.	Porcentaje mensual de yeguas del grupo testigo que presentaron folículos de diferentes tamaños (chicos, medianos y grandes)	40
Figura 6.4.	Porcentaje mensual de yeguas del grupo control que presentaron folículos de diferentes tamaños (chicos, medianos y grandes)	41
Figura 6.5.	Diámetro semanal promedio del mayor folículo en las yeguas testigo y las yeguas expuestas a fotoperiodo artificial	42

- Figura 6.6. Porcentaje acumulado de yeguas expuestas o no a fotoperiodo artificial que habían reiniciado la actividad ovulatoria en diferentes periodos del año 44
- Figura 6.7. Perfiles semanales de progesterona en yeguas del grupo testigo desde el primero de diciembre hasta junio 46
- Figura 6.8. Perfiles semanales de progesterona en yeguas del grupo experimental desde el inicio del programa de fotoperiodo artificial hasta la primera semana de abril 47

## I. RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó el efecto de un fotoperiodo artificial de 16 horas de luz y 8 de oscuridad sobre la longitud del periodo anovulatorio y la duración del periodo de transición hacia la época ovulatoria en yeguas criollas localizadas en la latitud 19° 9'N.

Se utilizaron 22 yeguas criollas de 3 a 17 años de edad, que fueron divididas al azar en dos grupos. Las yeguas del grupo experimental (n=14) se mantuvieron bajo un programa de fotoperiodo artificial de 16 horas de luz por día durante los meses de diciembre a marzo. Las yeguas del grupo testigo (n=8) se mantuvieron en condiciones de luz natural. Dos a tres veces por semana fue monitoreada la actividad folicular por ultrasonografía hasta la aparición del primer cuerpo lúteo. Todas las yeguas fueron receladas con un garañón y sangradas 1 o 2 veces por semana para la determinación de progesterona en suero.

El intervalo desde el inicio del tratamiento luminoso (1° de diciembre) a la primera ovulación del año en el grupo experimental fue de  $88.42 \pm 3.64$  días y para el grupo control fue de  $137.25 \pm 15.01$  días ( $p < 0.05$ ); la duración del periodo de transición vernal (intervalo entre el desarrollo del primer folículo mayor a 30 mm y la primera ovulación) fue de 31 y 38 días para cada grupo respectivamente. El diámetro folicular promedio aumentó paulatinamente a partir de la semana 7 en el grupo experimental y de la semana 13 en el grupo testigo. En ambos grupos se presentaron estros anovulatorios durante la época de anestro y durante la época de transición. Los periodos de estro fueron irregulares en su mayoría.

Los resultados indicaron que en latitudes relativamente cercanas al ecuador (19° 9'N) la exposición de yeguas criollas a un fotoperiodo artificial de 16 horas luz y 8 horas de oscuridad adelanta el inicio de la etapa de transición y de la etapa ovulatoria, por lo que puede ser utilizado para adelantar el inicio del programa reproductivo.

**Palabras Claves:** Fotoperiodo, artificial, yeguas, inducción.

## II. ABSTRACT

In the current study it was evaluated the effects of an artificial photoperiod of 16 hours of light and 8 of darkness over the length of the anovulatory period and the duration of the transition period to the ovulatory stage in creoles mares located in the 19° 9' N latitude.

There were used 22 creoles mares from 3 to 17 years old, which were divided randomly in 2 groups. The mares from the experimental group (n=14) were kept under artificial photoperiod program of the 16 hours of light per day during December to March months. The witness group mares (n=8) were kept under natural light conditions. Two to three times per week the follicular activity was monitored by ultrasonography until the first corpus luteum appeared. All mares were teasing with a stallion and bled 1 or 2 times per week to determine the presence of progesterone in plasma.

The interval from the beginning of the luminous treatment (December the 1<sup>st</sup>) to the first ovulation of the year on the experimental group was  $88.42 \pm 3.64$  days and, for the control group, it was of  $137.25 \pm 15.01$  days ( $p < 0.05$ ). The duration of the vernal transition period (interval between the development of the first follicle greater than 25 mm and the first ovulation) was of 31 and 38 days for each group respectively. The average follicular diameter increased slowly from the 7<sup>th</sup> week in the experimental group and from the 13<sup>th</sup> week in the witness group. In both groups, there showed anovulatory estrus during the anestrous stage and during the transition stage. The estrus period was mostly irregular.

Results indicated that, on relatively near to equator latitudes (19° 9' N), the exposition of creoles mares to an artificial photoperiod of the 16 hours light and 8 hours darkness, rushes the beginning of the transition stage and the ovulatory stage, so it may be used to rush the beginning of the reproductive program.

**Key words:** Photoperiod, artificial, mares, induction.

### III. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista reproductivo la yegua es una especie poliéstrica estacional con actividad ovárica en las épocas de primavera-verano y un período de quiescencia sexual en otoño e invierno. Esta estacionalidad reproductiva de la yegua está regulada principalmente por los cambios en la duración del periodo de luz de cada día (fotoperiodo), aunque puede ser modulada por la temperatura y la disponibilidad del alimento (Guerin y Wang, 1994; Fitzgerald y McManus, 2000; Nagy et al, 2000;).

El ritmo circanual de la reproducción en los caballos, como en la mayoría de las especies, está regulado principalmente por el fotoperiodo. Los animales perciben los cambios en la duración diaria de la luz solar, lo que les indica la época del año en la que se encuentran (Ginther, 1992). Para ello, la señal luminosa es transformada en señales endocrinas por medio de la glándula pineal, que interactúa con el hipotálamo, la hipófisis y las gónadas para regular los eventos de la fisiología reproductiva. La actividad ovárica aumenta conforme se incrementan las horas luz, hasta alcanzar, en el hemisferio norte, un patrón cíclico regular entre los meses de abril y septiembre (temporada reproductiva o época ovulatoria), que corresponden con el periodo de mayor longitud del día. Posteriormente la actividad ovárica se reduce conforme disminuye la duración de la luz diaria, hasta llegar a cesar en los meses de noviembre a enero (temporada anovulatoria), cuando los días son más cortos (Nagy et al, 2000; Ginther, 1992). En el hemisferio sur las temporadas reproductiva y de anestro se invierten debido a que la longitud del día también sigue un patrón opuesto al del hemisferio norte.

El control fotoperiódico de la estacionalidad reproductiva es más evidente en las latitudes altas, ya sea al norte o al sur del ecuador. Sin embargo, aún en latitudes relativamente cercanas al ecuador como por ejemplo entre la latitud 15 y la latitud 22° N, se presenta una clara época anovulatoria a pesar de que la diferencia entre la duración del día más largo y el día más corto es de tan solo 2 horas (Sharp, 1998; Boeta et al, 2006).

Las características de una población equina específica, en conjunto con los intereses económicos asociados a los programas de cruzamiento que se realizan para maximizar el uso de genética superior y para facilitar los nacimientos de potros tan cerca como sea posible del primero de enero, han provocado el desarrollo de programas de reproducción enfocados a acelerar el inicio de la etapa reproductiva, acortando la duración del periodo de transición entre la época de anestro y la de actividad ovárica cíclica plena (Sharp, 1998; Hart et al, 1984; Love et al, 2003). Con este fin se han utilizado varios tratamientos que incluyen hormonas como GnRH, progesterona, antagonistas de dopamina D2 y otras, así como programas de luz artificial (Hart et al, 1984; Daels y Besognet, 1998).

Varios estudios han demostrado la eficacia de los programas de fotoperiodo artificial para adelantar el inicio de la estación de actividad ovárica en yeguas en anestro estacional (Guerin y Wang, 1994; Malinowski et al, 1985; Oxender et al, 1977; Vázquez et al, 2004). En diferentes latitudes de ambos hemisferios se han realizado estudios para evaluar diversos programas de fotoperiodo artificial enfocados a disminuir la duración del periodo de transición hacia la época reproductiva. (Malinowski et al, 1985; Oxender et al, 1977; Saltiel et al, 1982; Vázquez et al, 2004)

En México se han realizado estudios de la estacionalidad reproductiva de diferentes razas de yeguas en distintas latitudes (15-22° N), usando para ello tanto animales vivos como material de rastro (González y Valencia, 1977; Saltiel et al, 1982). También se han evaluado los efectos de la exposición a fotoperiodo artificial en yeguas Pura Sangre Inglés, en las que se ha observado un notorio acortamiento de la época anovulatoria en todos los casos en los que se aplicó luz adicional, obteniendo rangos de concepción en los meses de febrero y marzo de hasta el 53.5% (Vázquez et al, 2004).

Sin embargo, las yeguas Pura Sangre Inglés son más estacionales que las yeguas criollas (Vázquez et al, 2004; Boeta et al, 2006), por lo que no se conoce si la estacionalidad reproductiva de las yeguas criollas mexicanas es susceptible de ser manipulada con fotoperiodo artificial. Por esta razón, el objetivo del presente experimento es evaluar el efecto de la exposición a fotoperiodo artificial sobre la longitud del periodo anovulatorio y la longitud del periodo de transición hacia la estación ovulatoria en yeguas criollas localizadas en Chalco, Estado de México (19° 9`N).

## **IV. REVISIÓN DE LA LITERATURA**

El ciclo reproductivo anual de la yegua consta de cuatro fases o periodos que van de una etapa reproductiva a la otra pasando por dos períodos de transición (transición a la actividad reproductiva y transición al anestro) y uno de inactividad ovárica o anestro profundo. En cada uno de los periodos la yegua presenta características endocrinas, morfológicas y conductuales específicas (Ginther, 1992; Donadeu y Watson 2007; Sharp, 1998).

### **4.1.- ETAPA REPRODUCTIVA (época ovulatoria)**

Es la fase del ciclo reproductivo anual en la que la yegua presenta actividad ovárica normal, con ovulación acompañada de estro a intervalos regulares y repetidos hasta que ocurre la gestación o llegue la época de anestro. La etapa reproductiva normalmente se extiende de marzo a octubre en el hemisferio norte, aunque existe variación individual. Comienza con la primera ovulación del año y la formación de un cuerpo lúteo, y continúa con un patrón de ciclicidad ovárica rítmica (ciclo estral) durante los meses de primavera y verano (Sharp, 1998; Ginther, 1992).

El ciclo estral es definido como “una secuencia repetitiva de eventos que preparan a la yegua para la concepción” (Daels, 1993). En comparación con otras especies domésticas la yegua tiene un ciclo estral convencionalmente dividido en solo dos partes: Un periodo de estro y un periodo de diestro. El estro tiene una duración de 5 a 10 días, y se caracteriza por la presencia de 1 a 4 folículos de tamaño sustancia, uno de los cuales se convierte en dominante y llega a ovular. Una vez que la yegua ovula y se forma un cuerpo lúteo da comienzo el periodo de diestro o fase lútea, que tiene una duración aproximada de 14 a 16 días hasta que ocurre la lisis del cuerpo lúteo (Love et al, 2003; Sharp, 1998).

#### **4.1.1- Aspectos hormonales de la etapa reproductiva**

Antes de iniciarse la etapa reproductiva se produce una disminución en la sensibilidad del hipotálamo frente a la retroalimentación negativa de los estrógenos. A partir de ese momento los niveles de estrógenos ováricos que durante los días largos eran capaces de inhibir la secreción de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) por las neuronas hipotalámicas (Fink, 1998) dejan de tener dicha capacidad inhibitoria.

Esta reducción en la sensibilidad del hipotálamo a los estrógenos permite la reactivación del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas, por lo que aumenta la frecuencia de secreción pulsátil de GnRH, que a su vez estimula la síntesis y secreción de la hormona lúteinizante (LH) por la células de la adenohipófisis (Irvine y Alexander, 1998; Fink, 1998).

La secreción frecuente de LH permite que el folículo dominante se desarrolle hasta el punto de producir una cantidad de estrógenos suficiente para inducir la elevación preovulatoria de LH, la cual a su vez provoca la ovulación (Freedman et al, 1979; Donadeu y Ginther, 2002). Un aspecto único en la reproducción de la yegua es el prolongado pico preovulatorio de LH, que en esta especie tiene una duración de entre 5 y 7 días, alcanzando las mayores concentraciones pocas horas antes de la ovulación. Este proceso prolongado está acompañado por una secreción relativamente prolongada de estrógenos, que llegan a alcanzar niveles de 50 o 60 pg/ml (Ginther et al, 2004).

A diferencia de lo que ocurre con la LH, la secreción de FSH es constante durante todo el año, aunque sus concentraciones son modificadas por los estrógenos e inhibina producidas por los folículos ováricos, por lo que durante el ciclo estral la FSH muestra dos picos en sus concentraciones sanguíneas, el primero a mitad del diestro y el segundo a la mitad del estro (Sharp, 1998; Bogh et al, 2000; Ginther et al, 2004;).

Se ha observado un decremento en la concentración plasmática de FSH que comienza cuando el folículo mas grande de la oleada alcanza un diámetro de 13 mm debido a que partir de ese momento el folículo es capaz de cantidades de inhibina suficientes para suprimir la secreción de la FSH (Bogh et al, 2000; Donadeu y Ginther, 2001; Love et al, 2003; Sharp, 1998).

Después de cada ovulación de la época reproductiva se forma un cuerpo lúteo que produce progesterona, cuyas concentraciones se elevan por arriba de 1 ng/ml hacia el segundo día después de la ovulación, alcanzando concentraciones de 7-10 ng/ml en el día 7 u 8 post-ovulación. Por el día 14 a 16 post-ovulación el endometrio produce prostaglandina F<sub>2α</sub>, la cual destruye el cuerpo lúteo (Sharp, 1998) para que se inicie un nuevo ciclo estral.

#### **4.1.2.- Aspectos morfológicos**

El estro se caracteriza por el desarrollo de varios folículos ováricos. Cuando uno de estos folículos alcanza un diámetro de 21 a 23 mm es seleccionado para ser un folículo dominante que continúa creciendo mientras los folículos más pequeños sufren regresión. El folículo dominante puede llegar a medir hasta 5 cm de diámetro en el momento de la ovulación; (Donadeu y Ginther, 2001). Algunas yeguas pueden llegar a producir dos folículos dominantes simultáneamente, en cuyo caso se produce una ovulación doble.

El expresivo y lento desarrollo folicular de la yegua comparado con otras especies podría deberse a una adaptación evolutiva para permitir que el folículo, que en la yegua se localiza en la médula ovárica, entre en contacto con la fosa de ovulación.

Una vez que el folículo llega a ovular, las células de la granulosa y las células epiteliales que quedan dentro de las paredes colapsadas proliferan y colonizan el coágulo que quedó en el interior del folículo, hasta formar una masa compacta llamada cuerpo lúteo (Sharp, 1998).

#### **4.1.3.- Aspectos Conductuales**

Para el manejo reproductivo de la yegua el manejador utiliza la información obtenida mediante la observación de su conducta en presencia del garañón (recelado). El estro es el periodo de receptividad sexual que dura en promedio 7 días, pero puede ser tan corto como 2 días o tan largo como 10 días. La receptividad sexual es exhibida a través de una variedad de manifestaciones visuales que incluyen, levantamiento de la cola, eversión de la fosa clitoral (espejeo) y micción. La yegua en estro en general se muestra complaciente frente al garañón, permitiendo que la muerda y la olfatee, lo cual despierta más el interés del macho hacia ella.

Después de la ovulación la receptividad se va perdiendo hasta que la yegua se muestra indiferente frente al garañón, lo cual indica que está en diestro (Love et al, 2003; Sharon, 2007; Sharp, 1998). Cuando la yegua no está en estro se mantiene indiferente ante la presencia del garañón, pero si este se le aproxima demasiado puede llegar a reaccionar violentamente, inclusive pateándolo.

#### **4.2.- TRANSICIÓN AL ANESTRO**

La transición desde la etapa reproductiva al anestro es definida como una fase de regresión gradual a una condición de inactividad ovárica hasta que ocurre la última ovulación del año. Las características de la transición otoñal hacia el anestro son poco conocidas, probablemente debido a la relativamente pequeña importancia económica que tiene para el humano (Ginther, 1992; King et al, 1993; Sharp, 1998).

Algunos autores toman esta etapa como parte del periodo anovulatorio; concordando en que existe una gran variación en la duración de esta etapa en las yeguas, que podría ser desde semanas hasta meses (Ginther et al, 2004; Donadeu y Watson, 2007).

#### **4.2.1.- Aspectos hormonales de la transición al anestro**

Aunque los mecanismos que se llevan a cabo en la transición otoñal no son muy conocidos, se sabe se caracteriza por un cambio progresivo en los perfiles de secreción de la LH, que se secreta en oleadas de menor amplitud y frecuencia durante los últimos ciclos estrales antes de entrar a la etapa acíclica. En algunos casos se ha observado una luteolisis mas temprana (día  $11.4 \pm 0.8$ ) durante los últimos ciclos estrales del año, e incluso una reducción en las oleadas de la FSH durante estos últimos ciclos (Irvine et al., 2000), aunque estas siguen siendo reguladas básicamente por la secreción de inhibina por parte de folículos mayores a 21 mm de diámetro (Irvine et al, 2000; Ginther, 1992; Ginther et al, 2004; Watson et al, 2002).

Frecuentemente se ha descrito una reducción lineal en las concentraciones de progesterona después del solsticio de verano debido a que la función lútea está alterada. En algunos casos durante la época de transición al anestro se presentan cuerpos lúteos persistentes, en los cuales la progesterona circulante permanece por encima de 1 ng/ml durante 30 días o más (Irvine et al, 2000; King et al, 1993; Nequin et al, 2000; Sharp, 1998).

#### **4.2.2.- Aspectos morfológicos**

Durante la época de transición al anestro es frecuente ver desarrollo folicular sin ovulación, y la incidencia de persistencia espontánea de cuerpos lúteo se eleva (Ginther et al, 2004; King et al, 1993).

La fase folicular de los ciclos estrales es mas larga en otoño (promedio 9.8 días) que en verano (7.8 días) (Weedman et al., 1993) y la actividad folicular decrece después del solsticio de verano (Ginther et al, 2004).

El tiempo de entrada al anestro varía considerablemente en cada individuo, por tal motivo el tiempo de duración de la transición otoñal es también variable.

#### **4.3.- ANESTRO (época anovulatoria)**

La época de anestro generalmente se extiende de noviembre a marzo en el hemisferio norte y de junio a septiembre en el hemisferio sur. Es el periodo que se caracteriza por una quiescencia reproductiva; es decir es la etapa anovulatoria.

##### **4.3.1.- Aspectos hormonales de la etapa anovulatoria**

Durante la etapa no reproductiva la respuesta del hipotálamo a la retroalimentación negativa de los estrógenos gonadales es mucho más grande, por lo que una pequeña cantidad de ellos basta para inhibir al generador de pulsos de GnRH en el hipotálamo. La melatonina es en gran parte responsable del incremento de la sensibilidad del eje hipotálamo- hipófisis frente a los efectos inhibitorios de los estrógenos (Fink, 1998; Hart et al, 1984).

Durante la época de anestro el eje hipotálamo-hipófisis-gonadal se encuentra relativamente inactivo, mostrando una reducción drástica en el contenido y secreción hipotalámica de GnRH, reduciéndose en gran medida la frecuencia de sus pulsos. Esto resulta en una reducción en la producción y secreción de LH, y aunque en mucha menor medida, también se afecta la secreción de FSH (Hart, et al, 1984; Sharp, 1998). En la yegua el cese de la ciclicidad y el término de la etapa reproductiva se deben principalmente a la reducida frecuencia de secreción de LH, más que a una deficiencia en la secreción de FSH (Hart et al, 1984; Silva et al, 1986).

#### **4.3.2.- Aspectos morfológicos**

Como resultado de la disminución de las concentraciones circulantes de LH, los ovarios se vuelven inactivos. Morfológicamente es posible demostrar la presencia de algunos folículos de hasta 5 a 7 mm de diámetro. En algunas ocasiones se llegan a presentar oleadas de desarrollo folicular similares a las de la etapa ovulatoria, e incluso algunos folículos pueden llegar a alcanzar un máximo de 25 mm, pero no llegan a ovular y terminan sufriendo regresión. El diámetro folicular reducido durante esta etapa es debido a la ausencia de soporte gonadotrópico por parte de la LH, cuya secreción se encuentra muy deprimida (Bogh et al, 2000; Donadeu y Watson, 2007; Sharp, 1998).

El decremento en la actividad folicular durante el invierno es precedido por una reducción en la proliferación celular de los folículos pre-antrales (Driancourt et al, citado por Donadeu y Watson, 2007).

La pérdida de la actividad ovárica resulta en un cese de la producción de hormonas esteroides, como los estrógenos y la progesterona esencialmente (Bogh et al, 2000; Love et al, 2003; Ginther, 1990; Sharp, 1998).

#### **4.3.3.- Aspectos conductuales**

La ausencia de niveles adecuados de estrógenos circulantes provoca que las yeguas dejen de mostrar signos de estro y se muestren intolerantes cuando están frente al garañón; Sin embargo, algunas yeguas muy sensibles a los estrógenos pueden exhibir conducta estral durante el invierno, probablemente debido a la producción de pequeñas cantidades de estrógenos en órganos como la glándula adrenal, aunado a la ausencia de progesterona por la continua ausencia de un cuerpo lúteo (Love et al, 2003; Sharon, 2007; Sharp, 1998).

#### **4.4- TRANSICIÓN HACIA LA ÉPOCA REPRODUCTIVA (primaveral)**

En el hemisferio norte la transición entre el anestro y la época reproductiva generalmente se presenta entre febrero o marzo hasta principios de abril. Esta etapa representa una fase de reanudación gradual de la actividad reproductiva en respuesta a un incremento de horas luz durante el día. La etapa de transición está llena de signos ambiguos y es de duración variable, comenzando en promedio 52 días antes de la primera ovulación, aunque puede durar desde 31 hasta 93 días (Ginther, 1992).

La transición primaveral es una serie de eventos orquestados que tienen como finalidad la primera ovulación del año (Ginther, 1992; Sharp, 1998).

##### **4.4.1.- Aspectos hormonales de la transición**

Algunas semanas después del solsticio de invierno (21 de diciembre en el hemisferio norte), la frecuencia de secreción de GnRH se va incrementando, lo que finalmente resulta en un aumento similar en la frecuencia de secreción pulsátil de LH. Sin embargo, el incremento inicial en la secreción de GnRH no es acompañado de inmediato por una respuesta en la secreción de LH, cuyas concentraciones permanecen relativamente bajas (Bogh et al, 2000; Fitzgerald et al, 1987; Sharp 1998). La falta de secreción de LH a pesar del incremento en la secreción de GnRH probablemente se debe a que se requiere tiempo para reactivar el gen que codifica para la síntesis de la subunidad  $\beta$  de la LH (Fitzgerald et al, 1987; Ginther, 1992; Sharp, 1998).

Durante la primera mitad del periodo de transición hay un aumento gradual en la frecuencia pulsátil de la LH, que ayuda al desarrollo de folículos de 28 a 40 mm de diámetro. Sin embargo, los folículos dominantes durante la transición temprana tienen una reducida sensibilidad a la LH debido a una deficiencia en el número de receptores para LH tanto en las células de la teca como en la granulosa. Durante la segunda mitad del periodo de transición aumenta gradualmente el número de

receptores para LH debido a la estimulación de su síntesis (Donadeu y Watson, 2007).

En la segunda mitad de la etapa de transición, las concentraciones séricas de FSH se encuentran elevadas, provocando el desarrollo de folículos que crecen hasta 20 o 35 mm de diámetro, pero que no llegan a ovular debido a su limitada sensibilidad a la LH y a las bajas concentraciones de esta hormona. Las concentraciones de FSH permanecen fluctuantes hasta aproximadamente 7 días pre-ovulación, cuando disminuyen debido a la retroalimentación negativa ejercida por la inhibina producida por el folículo dominante. Al mismo tiempo, el efecto de retroalimentación positiva que los estrógenos ejercen sobre el hipotálamo y la hipófisis estimula la secreción de LH para alcanzar las altas concentraciones séricas necesarias para que se produzca la primera ovulación del año (Daels y Besognet, 1998; Love et al, 2003; Sharp, 1998; Silva et al, 1986).

La función esteroidogénica de los folículos en transición es muy pobre e incompleta. Los folículos transicionales presentan una producción muy pequeña de andrógenos y estrógenos hasta antes de la primera ovulación del año. Esto es debido a la deficiente actividad de enzimas esteroidogénicas como la  $17\alpha$ -hidroxilasa que convierten la progesterona en  $17\alpha$ -hidroxiprogesterona, y la  $17\alpha$ -20 liasa, que cataliza la transformación de la  $17\alpha$ -hidroxiprogesterona en androstenediona. El ligero incremento de LH durante las 2 a 3 semanas previas a la primera ovulación ayuda a crear un folículo esteroidogénicamente funcional (Davis y Sharp, 1991; Fitzgerald et al, 1987; Love et al, 2003; Sharp et al, 1991; Sharp, 1998).

#### **4.4.2.- Aspectos morfológicos**

A la examinación ultrasonográfica, los ovarios de las yeguas durante la transición exhiben una apariencia multifolicular. Se presentan oleadas de desarrollo y regresión de numerosos folículos, sin que alguno de ellos llegue a ovular.

El diámetro máximo alcanzado por los folículos durante cada oleada se incrementa conforme el fotoperiodo va aumentando (Ginther et al, 2004).

Cada oleada folicular causa el desarrollo de un folículo dominante que, incluso puede llegar a alcanzar diámetros característicos de un folículo pre-ovulatorio, pero su velocidad de desarrollo y regresión es más lenta que la de los folículos de la estación reproductiva, lo cual provoca que las yeguas muestren signos erráticos de estro de intensidad variable y por tiempo prolongado (algunas veces puede durar hasta un mes) (Ginther 1990; Love et al, 2003; Sharp 1998). Usualmente las yeguas desarrollan una serie de 3 a 4 folículos anovulatorios dominantes de más de 30 mm de diámetro a intervalos de 10 a 12 días (Ginther, 1990; Watson et al, 2002).

Aparentemente los folículos dominantes de cada oleada folicular de la etapa de transición producen suficientes hormonas para inhibir la secreción de FSH al alcanzar un grado de desarrollo similar al requerido para lograr el mismo efecto por los folículos dominantes desarrollados durante la etapa ovulatoria. Sin embargo, se ha comprobado que los folículos de transición primaveral están menos vascularizados, y que la cantidad de células de la granulosa en ellos también es menor (Donadeu y Ginther, 2003; Sharp, 1998; Watson y Al-zì`abi, 2002).

#### **4.4.3.- Aspectos conductuales**

Durante este periodo se presenta el desarrollo e involución de numerosos folículos dominantes que no llegan a ovular, pero si producen suficientes estrógenos para inducir la aparición de signos de estro. Esto provoca confusión y prácticas reproductivas erróneas, además de un uso inadecuado del garañón, ya que es muy difícil predecir cuando ocurrirá la ovulación, por lo que no se puede determinar el momento preciso para el servicio (Love et al, 2003; Sharp, 1998).

Los problemas de manejo reproductivo asociados a la etapa de transición son especialmente importantes debido a que es precisamente en esa época del año cuando se requiere dejar gestantes a las yeguas en las razas en las que por reglamento se considera el primero de enero como la fecha de nacimiento de los animales, por lo que los criadores buscan tener el mayor número posible de nacimientos lo antes posible a partir del inicio del año (Sharp, 1998).

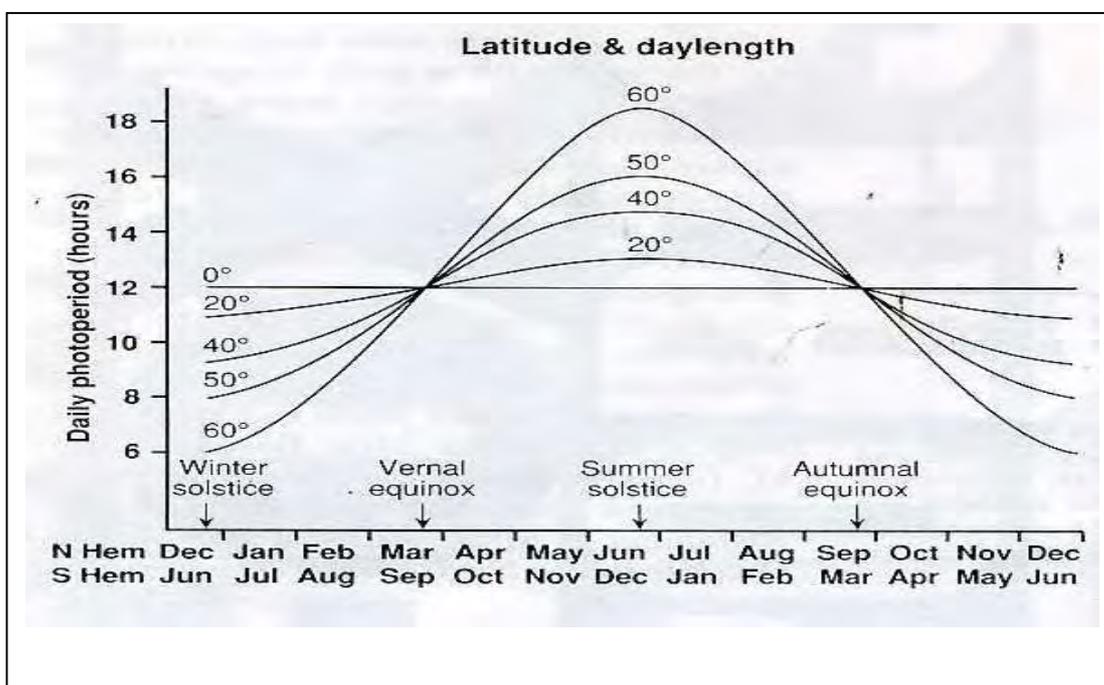
#### **4.5.- FOTOPERIODO**

La estacionalidad reproductiva de la yegua es regulada principalmente por el fotoperiodo. Las yeguas comienzan a ciclar después de varias semanas de exposición al fotoperiodo creciente de primavera, y dejan de ciclar después de un periodo de exposición al fotoperiodo decreciente del otoño (Ginther, 1992; Ginther et al, 2004). Sin embargo, la duración absoluta del día y de la noche no son los factores esenciales que la yegua percibe en el fotoperiodo, ya que si estos animales se localizan en diferentes latitudes (norte o sur) comienzan a ciclar aproximadamente en la misma época del año a pesar de que la longitud del día en dicho momento es diferente en las diversas latitudes. Esto indica que las yeguas responden mas bien al cambio en la duración del día, cambio que se inicia en la misma fecha en cualquier latitud de un determinado hemisferio (solsticios de verano e invierno) (Guerin y Wang, 1994; Nagy et al, 2000; Ginther, 1992).

En el hemisferio norte la longitud del día comienza a aumentar después del solsticio de invierno (21 de diciembre). Conforme aumentan las horas luz el porcentaje de yeguas con actividad ovárica se incrementa gradualmente, de tal forma que cuando la longitud del día llega a su máxima expresión en el solsticio de verano (21 de junio) todas las yeguas se encuentran ciclando. A partir del solsticio de verano la duración del día comienza a reducirse, y con ello se reduce también el porcentaje de yeguas con actividad ovulatoria (Ginther, 1992; Love et al, 2003).

En el hemisferio sur los cambios en la dirección en la longitud del día ocurren en las mismas fechas pero en dirección inversa (día más largo 21 de diciembre, día más corto 21 de junio).

Por otra parte, la magnitud en el cambio diario de la longitud del día varía de acuerdo a la latitud: En las latitudes cercanas al ecuador el cambio en la longitud del día es mínimo, y aumenta gradualmente conforme nos alejamos del ecuador (Ginther, 1992, figura 4.1).



**Fig. 4.1.** Asociación entre la latitud y la longitud del fotoperiodo a través de todo el año (Ginther, 1992).

En un estudio con yeguas ponis realizado en los Estados Unidos, en Wisconsin (43° N) y Florida (30° N), se encontró que el comportamiento reproductivo fue muy similar en los dos grupos; el porcentaje de yeguas que ovularon en primavera y verano fue el mismo; aunque la duración de la etapa ovulatoria fue mayor en Florida que en Wisconsin. También se ha visto una diferencia en la presentación de la primera ovulación del año al comparar a las yeguas de Australia (28° a 38° S) con

las de Nueva Zelanda (36° a 46° S), ya que las primeras tienden a iniciar su actividad ovárica un mes antes que las segundas (Ginther, 1992).

El fotoperiodo al que está expuesta una yegua influye sobre su ritmo reproductivo circanual; sin embargo, los efectos del fotoperiodo pueden ser influenciados por otros factores como:

- El estado refractario a los cambios fotoperiodicos
- La historia fotoperiodica
- La existencia de una fase foto sensitiva durante la noche (Nagy et al., 2000; Palmer y Guillaume, 1992).

Cuando la yeguas son mantenidas bajo condiciones constantes de fotoperiodo (días largos o días cortos) ellas mantienen un ritmo circanual endógeno de actividad reproductiva a pesar de las constantes condiciones estimuladoras o inhibitorias. Esto es debido a una refractariedad que puede ser descrita como una inhabilidad para continuar respondiendo al tipo actual de fotoperiodo. Por esta razón las yeguas que son mantenidas artificialmente expuestas a periodos de 16 horas luz: 8 horas de oscuridad (16L:8D) durante el invierno tarde o temprano entran en anestro. Esto permite que el sistema reproductivo pueda mantener una sensibilidad constante a los cambios de luz (Nagy et al, 2000; Palmer y Guillaume, 1992). La historia fotoperiódica por lo tanto determina la respuesta a un programa artificial de fotoperiodo específico.

En yeguas se ha demostrado la presencia de una fase fotosensitiva durante la fase oscura, por esta razón cuando son expuestas a la luz 9.5 horas después del comienzo de la oscuridad, la secreción de melatonina se interrumpe, lo cual es tomado como una señal de la duración total del día y la noche (Nagy et al., 2000). En condiciones naturales de fotoperiodo, hay un cambio gradual entre la fase oscura y la fase luminosa cada día por lo que la percepción de la salida y la puesta del sol difieren cada día. Por esta razón la ubicación de la fase fotosensitiva podría variar (Nagy et al, 2000).

Como resultado de los estudios hechos en varias especies se sabe que los efectos del fotoperiodo sobre el hipotálamo son mediados por la glándula pineal. La información luminosa es recibida por la retina del ojo y transmitida al núcleo supraquiasmático del hipotálamo por medio del tracto nervioso retinohipotalámico. Del núcleo supraquiasmático la información pasa al núcleo paraventricular y al ganglio cervical superior del sistema nervioso simpático. Cuando la retina no está percibiendo luz el resultado es la activación del ganglio cervical superior, cuyas terminaciones nerviosas liberan noradrenalina en la glándula pineal, lo que estimula la secreción de melatonina (Hart et al, 1984; Fink, 1998).

En la yegua la acción de la melatonina es predominantemente inhibitoria con respecto a la reproducción (Fink, 1998; Nagy et al, 2000).

#### **4.5.1.- Participación de la melatonina en el control de la estacionalidad reproductiva de la yegua**

Existe un ritmo circadiano de secreción de melatonina. Dicha secreción inicia durante la fase oscura del fotoperiodo y se detiene con el inicio de la fase luminosa. Sin embargo, la secreción nocturna se detiene abruptamente si hay exposición del ojo a la luz (Guillaume y Palmer citado por Nagy et al, 2000; Fink, 1998). Las concentraciones plasmáticas de melatonina durante el otoño e invierno son mucho mas altas que durante la primavera y el verano.

Durante los días largos la secreción de melatonina es de poca duración, mientras que en los días cortos la duración en la secreción es mayor. En algunas especies esta historia de secreción de melatonina regulada por el fotoperiodo comienza prenatalmente con la transferencia de la señal de la melatonina desde la madre al feto a través de la placenta. La experiencia previa regula o modula la aparición de la pubertad en ciertas estaciones del año (Fink, 1998).

El patrón de melatonina circulante provee una clave neuroquímica para reconocer la longitud de la noche, por lo que indirectamente provee información para conocer la época del año. Además de regular la reproducción, la melatonina provee información sobre la época del año que es usada para regular muchas respuestas fisiológicas estacionales como la el metabolismo de las grasas, la hibernación, la termogénesis y los cambios de pelo o plumaje.

Aunque es cierto que la melatonina no influenciía directamente la secreción de GnRH, se sabe que los cambios en el patrón de secreción de melatonina actúan durante varias semanas o meses para inducir un remodelamiento morfológico en el hipotálamo que para modular la secreción de GnRH (Fink, 1998; Silva et al, 1986; Fig. 4.2).

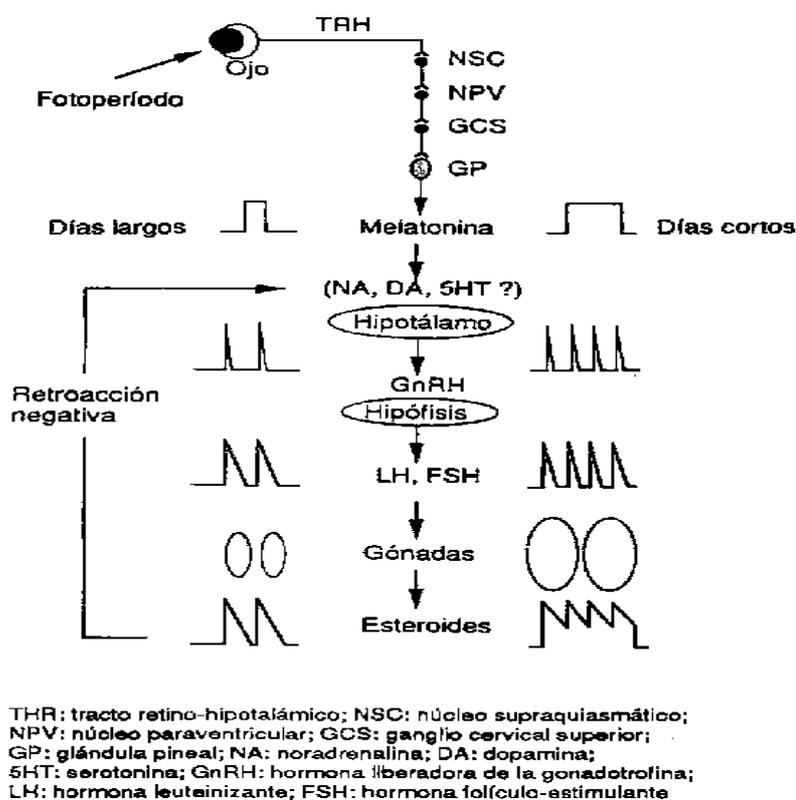


Fig. 4.2. Muestra el control neuroendocrinológico de la secreción de melatonina bajo diferentes estímulos fotoperiódicos (Palmer et al, 1983).

Algunos modelos proponen que los patrones de melatonina asociados a los distintos fotoperiodos modulan la sensibilidad de las neuronas hipotalámicas al estradiol, lo que resulta en cambios en la frecuencia de los pulsos de secreción de GnRH (Hart et al, 1984; Fink, 1998; Guillaume et al, 1995).

Guillaume et.al. (1995), demostraron que la exposición constante a niveles elevados de melatonina mediante la aplicación de un implante es capaz de modificar la estacionalidad reproductiva de la yegua.

En otro estudio hecho en yeguas se encontró que los implantes de melatonina insertados cerca del solsticio de verano avanzaron la estación ovulatoria en el siguiente año. Esto puede ser debido a que la percepción temprana y continua de días cortos causada por las concentraciones altas de melatonina eventualmente provocó el inicio de una etapa refractaria a los días cortos (Nagy et al, 2000).

Para comprobar el efecto de la melatonina sobre la estacionalidad de la reproducción equina, se diseñó un experimento en el cual se observó que en las yeguas pinealectomizadas se produjo un retraso en el inicio de la etapa ovulatoria y la exposición a fotoperiodo artificial dejó de tener efecto sobre la duración de la etapa de transición. En las yeguas pinealectomizadas no se producía el incremento en las concentraciones de melatonina durante la fase oscura (Ginther, 1992).

#### **4.5.2.- Efecto de otras hormonas sobre la estacionalidad reproductiva**

Pese a que la melatonina es la hormona con mayor influencia sobre la estacionalidad reproductiva de la yegua, existen otras sustancias que también influyen. Los neurotransmisores que median los efectos de factores internos y externos para inhibir o estimular la secreción de otras hormonas encargadas de la reproducción; también tienen un cambio en su actividad en las diferentes etapas reproductivas.

Durante el periodo anovulatorio la secreción de opioides endógenos se encuentra reducida, por lo que se sugiere un comportamiento estacional para estas hormonas. Adicionalmente, algunas catecolaminas también están implicadas en el comportamiento estacional por medio de la supresión de la secreción de GnRH, siendo especialmente importantes los efectos de algunas neuronas dopaminérgicas, ya que en el periodo anovulatorio las concentraciones de dopamina en el fluido cerebroespinal de las yeguas son mucho más altas que en la etapa ovulatoria (Nagy et al, 2000).

En estudios hechos con antagonistas de dopamina D2, administrados a yeguas durante 28 días, se ha visto un inicio más temprano de la actividad folicular y mayor grado de desarrollo de los folículos (Daels y Besognet, 1998; Donadeu y Thompson, 2002; Nagy et al, 2000).

Por otra parte, algunos mecanismos locales del ovario juegan un rol importante en la regulación del desarrollo folicular durante la estación anovulatoria (Watson y Al-zì`abi, 2002). Proteínas como el factor de crecimiento parecido a la insulina (IGF-1), tienen una función especial durante el desarrollo folicular. Durante la etapa ovulatoria se presenta un aumento en los niveles intrafoliculares de IGF-1, y un descenso en las concentraciones de proteínas ligadoras del IGF (IGFBPs). Esos cambios intrafoliculares en los componentes de la familia IGF están temporalmente relacionados con la selección del folículo dominante (Donadeu y Ginther, 2002).

Durante el periodo anovulatorio profundo las concentraciones circulantes de inhibina son bajas; durante el periodo transicional estas concentraciones se incrementan en asociación con el aumento del fotoperiodo, dando como resultado un aumento en la actividad folicular (Donadeu y Ginther, 2002 y 2003).

Las diferencias entre los diámetros de los folículos de transición y ovulatorios, así como entre los dominantes y subordinados en yeguas que están ciclando, están asociados a diferencias en la irrigación sanguínea de estos folículos (Acosta et al, 2004). El grado de vascularización se relaciona con las concentraciones intrafoliculares del factor de crecimiento del endotelio vascular (VEGF), el cual también está sujeto a variaciones estacionales (Acosta et al, 2004; Watson y Alzìabi, 2002).

#### **4.6.- OTROS FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA ESTACIONALIDAD REPRODUCTIVA**

El patrón reproductivo estacional es el resultado de un ritmo circanual endógeno que es controlado por factores ambientales externos como el fotoperiodo, la temperatura, la nutrición y la condición corporal (Nagy et al, 2000; Sharp, 1998).

##### **4.6.1.- Nutrición y condición corporal**

El efecto de la nutrición sobre la reproducción ha sido descrito por varios autores. Carnevale en 1997, demostró que las yeguas que pastan sobre prados verdes ovulan antes que se mantienen en condiciones de estabulamiento. Por otro lado las yeguas con una condición corporal menor a 5 (escala de 1 a 9), presentan un mayor intervalo de anestro a la primera ovulación del año (Nagy et al, 2000).

Kubiak en 1987 demostró que si se suministra una dieta alta en energía a yeguas en transición con una pobre condición corporal se puede adelantar la primera ovulación del año, sin embargo no existe el mismo efecto en yeguas con condición corporal buena o grasa.

#### **4.6.2.- Temperatura**

Guerin y Wang en 1994 reportaron que el inicio de la actividad reproductiva está estrechamente ligado a los cambios en la temperatura ambiente. Algunos datos sugieren que el periodo de transición primaveral se alarga en lugares muy fríos (Guerin y Wang, 1994; Nagy et al, 2000).

#### **4.6.3.- Edad**

La actividad folicular y las concentraciones de gonadotropinas muestran variaciones asociadas a la edad de las yeguas. El numero de folículos aumenta gradualmente entre la pubertad y los 5 años de edad, alcanzando una meseta entre los 6 y 15 años y declinando después de los 15 (Ginther et al, 2004). Se ha observado que la fase de desarrollo folicular en yeguas jóvenes ( $\leq 5$  años) o viejas ( $\geq 20$  años) es significativamente mas rápido que en yeguas maduras (10 a 15 años), y en yeguas viejas el pico preovulatorio de LH es menos pronunciado (Carnevale et al, 1997).

Las yeguas viejas presentan actividad folicular reducida incluso durante la etapa ovulatoria; lo cual puede ser explicada por la depleción de folículos primordiales asociado con una reducción del número de folículos viables. Además se ha observado que las yeguas de más de 15 años comienzan su estación ovulatoria hasta 2 meses más tarde que las yeguas de edad intermedia (Carnevale et al, 1997; Ginther et al, 2004).

En un estudio hecho con ponis, Wesson et al (1981), observaron que las yeguas mas jóvenes (2 a 5 años) tienen una etapa ovulatoria mas corta que las yeguas de edad intermedia; y que las yeguas de edades avanzadas ( $>15$  años) presentan menor numero de ovulaciones durante la misma etapa. Tanto las yeguas muy jóvenes como las muy viejas presentaron más tarde la primera ovulación del año.

#### **4.7.- FOTOPERIODO ARTIFICIAL**

La estacionalidad reproductiva fisiológica de la yegua puede ser exitosamente manipulada mediante su exposición a fotoperiodo artificial largo durante los meses de invierno.

Se ha observado que para inducir la actividad ovárica se requieren de 14 a 16 h diarias de exposición a la luz (luz natural mas luz artificial) mientras que fotoperiodos menores a 13 horas o mayores de 20 horas no estimulan la ciclicidad en las yeguas (Ginther, 1992; Love et al, 2003; Palmer y Guillaume, 1992).

La intensidad de luz artificial recomendada por la mayoría de los autores es de 100 luxes a la altura de los ojos de la yeguas, aunque se han visto buenos resultados con menores intensidades (Love et al, 2003; Nagy et al, 2000).

Los programas de fotoperiodo artificial requieren un mínimo de 8 a 12 semanas de aplicación para lograr una respuesta, dependiendo del nivel de actividad ovárica al inicio del tratamiento (Love et al, 2003; Nagy et al, 2000).

Se han utilizado varios métodos para exponer las yeguas a fotoperiodos artificiales:

- Usando una fuente de luz constante y fija encendida durante los periodos necesarios para alcanzar las 14 o 16 horas de luz al día (16L:8D), desde el inicio hasta el termino del periodo de tratamiento y comenzando a suplementar con luz artificial casi al final del día. Por ejemplo: 1º de diciembre aplicar 5 o 6 horas de luz artificial poco antes de la puesta del sol (antes de que oscurezca) para completar las 16 horas luz requeridas (natural mas artificial), 2 de diciembre aplicar 5 o 6 horas de luz artificial para completar las 16 horas luz requeridas (natural mas artificial), sucesivamente sin cambio, hasta el ultimo día de tratamiento (Freedman et al, 1979; Ginther, 1992; Love et al, 2003; Nagy et al, 2000).

- Incrementando semanalmente la duración de la fuente de luz artificial por intervalos relativamente pequeños de tiempo en forma similar a como ocurre en la naturaleza; hasta alcanzar el número de horas luz deseadas. Por ejemplo: 1º de diciembre, 10 horas luz natural más media hora de luz artificial; 8 de diciembre, 10 horas luz natural más 1 hora de luz artificial; 15 de diciembre, 10 horas luz natural más 1.5 horas de luz artificial; hasta completar 16 horas luz (natural más artificial) y manteniéndolo así hasta el último día de tratamiento (Ginther, 1992; Love et al, 2003; Oxender et al, 1977).
- Suplementando con luz artificial al inicio y al final del día para alcanzar las 14 o 16 horas luz durante todo periodo de estimulación (2L:4L:8D). Por ejemplo: 1º de diciembre, aplicar luz artificial 2 horas antes de la salida del sol (antes de amanecer) y 4 horas después de casi meterse el sol (antes de oscurecer); manteniéndolo así durante todo el tratamiento (Ginther, 1992; Love et al, 2003; Malinowski et al, 1985).
- Aplicando luz artificial a intervalos cortos e interrumpidos durante el día y la noche con varias modalidades (10L:2D:2L:10D, 10L:4D:2L:8D, 10L:6D:2L:6D). Por ejemplo: 1º de diciembre, 2 horas después meterse el sol (2 horas de oscuridad) aplicar luz artificial durante solo 2 horas (2 horas de luz) para después volver a la oscuridad por 10 horas hasta que amanezca. Otra forma puede ser la siguiente: 1º de diciembre, aplicar solo 2 horas de luz artificial 8 horas después de que haya metido el sol (8 horas de oscuridad, 2 de luz artificial, 4 de oscuridad y 10 de luz natural); desde el inicio hasta el final del tratamiento (Malinowski et al, 1985; Palmer y Guillaume, 1992).

Ginther en 1992 y Palmer y Guillaume en 1992, sugirieron que los mejores resultados se obtienen cuando la suplementación de luz se hace por la mañana y por la tarde o en un solo intervalo fijo por la tarde.

Para lograr la intensidad de luz mínima requerida algunos autores recomiendan usar un foco de luz incandescente de 200 W a una distancia del piso de 7 a 8 pies (Love et al, 2003; Oxender et al, 1977).

Si el periodo de luz artificial es comenzado el primero de enero es muy probable que el periodo de transición primaveral no sea más corto que el de las yeguas expuestas a luz natural (Guillaume y Palmer, 1992).

Si se aplica un programa de luz artificial antes de que comience el anestro se produce una respuesta compleja, provocando que el anestro se retarde, se suprima o se acorte (Palmer y Guillaume, 1992). La exposición a fotoperiodo largo a partir del solsticio de verano puede alargar la etapa ovulatoria (Ginther, 1992).

Por otro lado, se ha observado que la exposición diaria a más de 18 horas de luz artificial no logra una estimulación adecuada, lo que sugiere que la exposición mínima a una fase oscura también es necesaria (Ginther, 1992; Nagy et al, 2000).

#### **4.7.1.- Otros métodos para acortar el periodo de transición**

Existen varios métodos para asistir los programas de reproducción con el mismo fin de acelerar el inicio de la etapa reproductiva. La mayoría de estos métodos se basan en la utilización de hormonas:

- Implantes de melatonina. Acelera el inicio de la etapa ovulatoria por medio del efecto refractario a los días cortos (Nagy et al, 2000; Palmer y Guillaume, 1992).

- Administración de antagonistas dopaminérgicos. Aumenta la secreción de GnRH en el hipotálamo, e incrementa la secreción de prolactina. Requiere condiciones muy controladas de administración (Daels y Besognet, 1998; Donadeu y Thompson, 2002; Nagy et al, 2000).

- Extracto pituitario. Puede incluso inducir ovulaciones múltiples, pero no está disponible comercialmente (Ginther, 1992; Nagy et al, 2000).

- Implantes de GnRH. Se utilizan durante el anestro profundo con mucho éxito. Sin embargo, es un tratamiento muy costoso, por lo que no es muy utilizado en la práctica (Ginther, 1992; Nagy et al, 2000).

- Progestágenos. Se han utilizado con éxito para acelerar y sincronizar el inicio de la actividad ovárica cíclica en yeguas anéstricas. El resultado depende del momento de la etapa de anestro en que se inicie el tratamiento (Nagy et al, 2000).

La técnica más comúnmente usada es la combinación de progestágenos con luz artificial para adelantar y sincronizar el inicio de la actividad ovárica cíclica (Nagy et al, 2000), aunque es aún más común el utilizar exclusivamente la luz artificial (Ginther, 1992; Donadeu y Watson, 2007).

## **V. MATERIALES Y MÉTODOS**

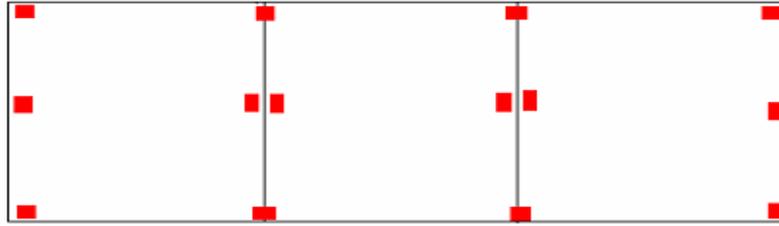
### **5.1. Planeación y clasificación del estudio.**

El estudio se realizó en las instalaciones del rancho San Francisco en Chalco, Estado de México, latitud 19° 9`N, 2203 m sobre el nivel del mar. Se utilizaron un total de 22 yeguas vacías de raza criolla de edades variables (de 3 a 17 años). La alimentación consistió básicamente en heno de avena, alfalfa, concentrado y pastoreo en pasto verde. El agua fue ad libitum. La condición corporal de las yeguas al inicio del estudio oscilaba entre 5 y 6 (escala de 1 a 9) y al término del estudio estaba entre 7 y 8.

Las yeguas se dividieron en dos grupos:

El grupo control (8 yeguas) alojado en corrales con una pequeña área de sombra estuvieron expuestas al fotoperiodo natural durante el estudio. El grupo experimental (14 yeguas) fue expuesto a un programa de luz artificial con el que se lograba un periodo diario de exposición a luz (natural + artificial) de 16 horas diarias desde el inicio del tratamiento (1º de diciembre) hasta el 15 de marzo.

La aplicación del fotoperiodo artificial (16L:8D) se logró a través de 14 reflectores de 150 watts colocados en postes a una altura de 2.50 m, con los que se cubría un área de 568.8 m<sup>2</sup>, distribuidos como muestra la figura 5.1. Los reflectores que estaban conectados a un sistema de encendido automático que se activaba a las 5:00 pm y se apagaba a las 11:00 pm.



**Fig. 5.1.** Esquema de la distribución de reflectores en los corrales de las yeguas experimentales. En el primer corral se ubicaron 4 yeguas, en el segundo y cuarto corral se ubicaron 5 yeguas estudio en cada uno.

## 5.2. Monitoreo de estros y dinámica folicular.

Las yeguas fueron receladas con un garañón cada tercer día para observar signos de estro. La actividad folicular fue monitoreada transrectalmente con un transductor lineal de 5 MHz una vez por semana durante el anestro y dos o tres veces por semana durante el estro hasta la aparición del primer cuerpo lúteo. Los folículos fueron clasificados en pequeños (<15 mm), medianos (16-30 mm) y grandes (>30 mm) (Boeta et al, 2006).

## 5.3. Determinación de progesterona

Todas las yeguas fueron sangradas de la vena yugular (10 ml) una o dos veces por semana para evaluar la función ovárica (Koskinen et al, 1996). Las muestras sanguíneas fueron centrifugadas (3500 rpm por 15 o 20 min.) una hora después de su obtención. El suero fue separado y mantenido congelado a -20°C hasta el ensayo para la determinación de progesterona.

Las concentraciones de progesterona fueron determinadas por radioinmunoensayo en fase sólida (Coat a Count, DPC) en el laboratorio del Departamento de Reproducción de la UNAM. Las diluciones utilizadas fueron 1:40 y la sensibilidad del ensayo fue de 0.02 ng/ml. El coeficiente de variación interensayos fue de 4.03% y 5.16%.

Cuando las concentraciones de progesterona fueron iguales o mayores a 1 ng/ml en por lo menos dos muestras sanguíneas consecutivas se asumía la presencia de un cuerpo lúteo funcional formado como resultado de una ovulación.

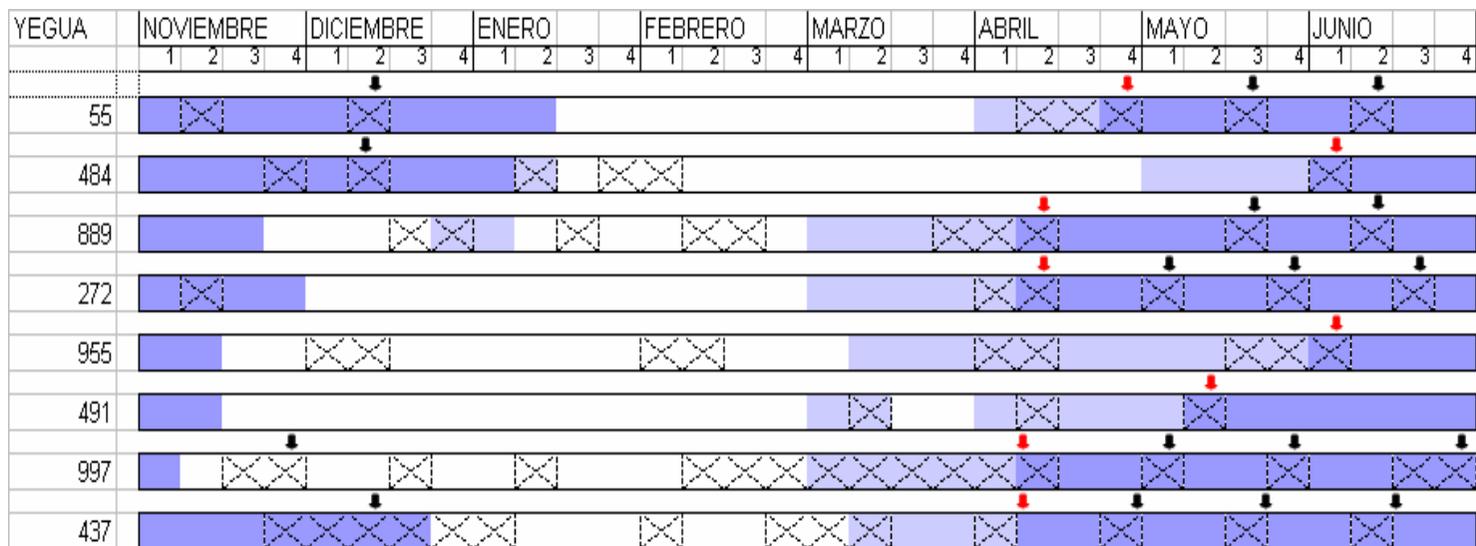
#### **5.4. Análisis estadístico.**

El efecto del fotoperiodo artificial sobre la duración del periodo de transición y el desarrollo folicular fueron examinados por un Análisis de Varianza (ANOVA), utilizando el programa.

## VI. RESULTADOS

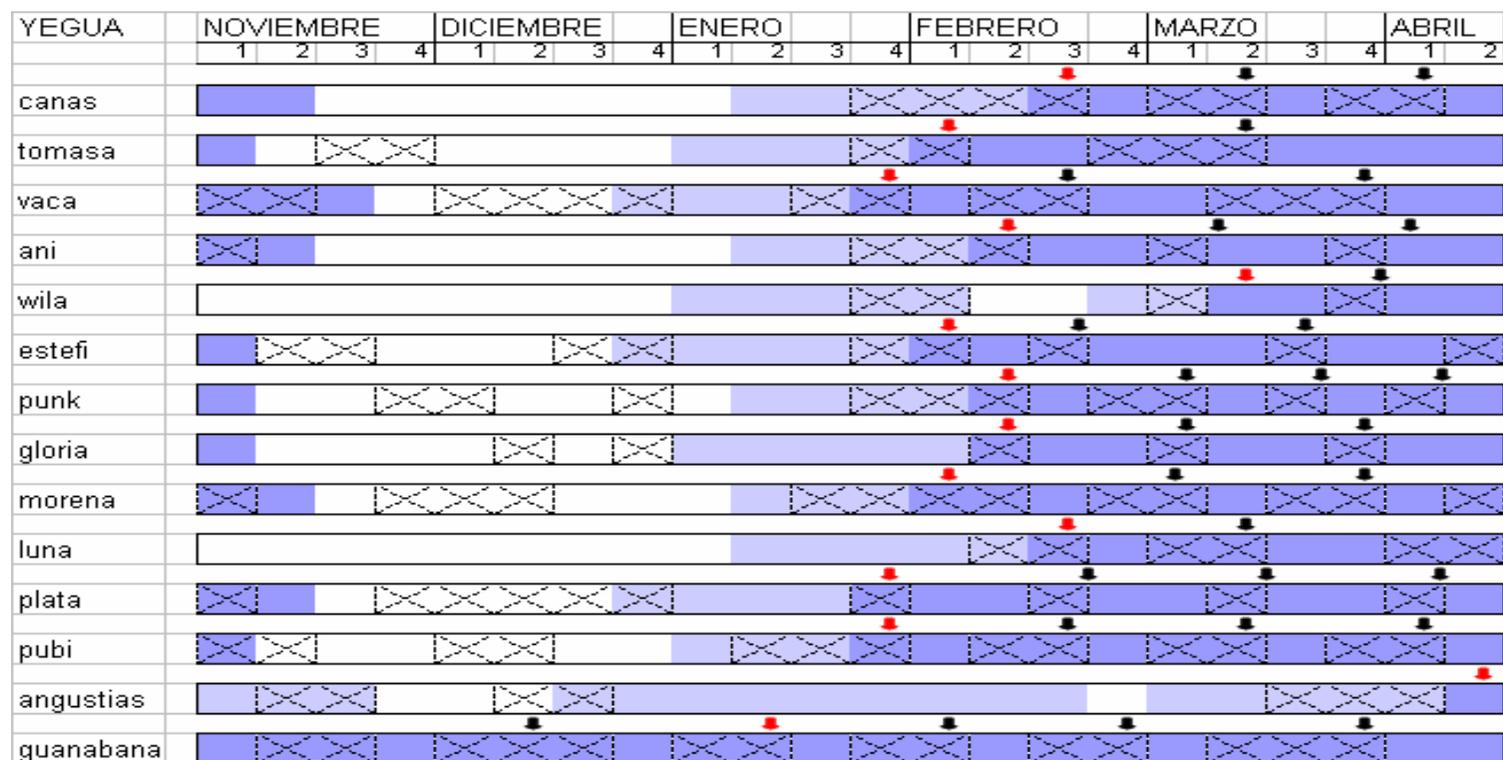
En la figura 6.1 se resume la actividad ovárica y conductual de las yeguas del grupo testigo durante el periodo del estudio. Las barras de tono azul oscuro indican los periodos durante los cuales las yeguas mantenían actividad ovulatoria regular, caracterizada por la presencia de concentraciones elevadas de progesterona características de la presencia de un cuerpo lúteo funcional interrumpidas por periodos de progesterona baja de no más de 2 semanas de duración (compatible con la fase folicular del ciclo). Las barras de tono más claro indican periodos de transición hacia la época ovulatoria durante los cuales se desarrollaban folículos de diámetro igual o mayor a 30 mm de diámetro sin que se registraran concentraciones de progesterona indicativas de la ocurrencia de ovulación. Las X indican periodos de manifestación de signos de estro. Las flechas rojas indican la primera ovulación de la época ovulatoria, y las flechas negras indican ovulaciones subsecuentes. Como puede observarse, todas las yeguas del grupo testigo tuvieron un periodo anovulatorio de duración variable que se inició entre noviembre y enero y concluyó entre abril y junio. Más de la mitad de las yeguas presentaron varios periodos de estro sin ovulación durante la época anovulatoria. En todos los animales tanto la primera ovulación de la época ovulatoria como las ovulaciones subsecuentes estuvieron acompañadas de signos de estro.

En la figura 6.2 se presenta la información resumida de las yeguas del grupo experimental, Como puede observarse, en estas yeguas la actividad ovulatoria se reinicia antes, por lo que casi todas las yeguas mostraron su primera ovulación durante el mes de febrero, a diferencia de las yeguas testigo que comenzaron a ovular a partir de abril. Por otra parte, en el grupo experimental también se presentaron múltiples etapas de estro sin ovulación durante la etapa anovulatoria, así como periodos de transición en los cuales hubo la presencia de folículos grandes que no llegaban a ovular. Sin embargo dichos folículos persistentes se presentaron antes en el grupo experimental (diciembre a febrero) que en el grupo testigo (marzo a mayo).



**Fig. 6.1.** Representación semanal del periodo de anestro y actividad ovárica en las yeguas del grupo control.

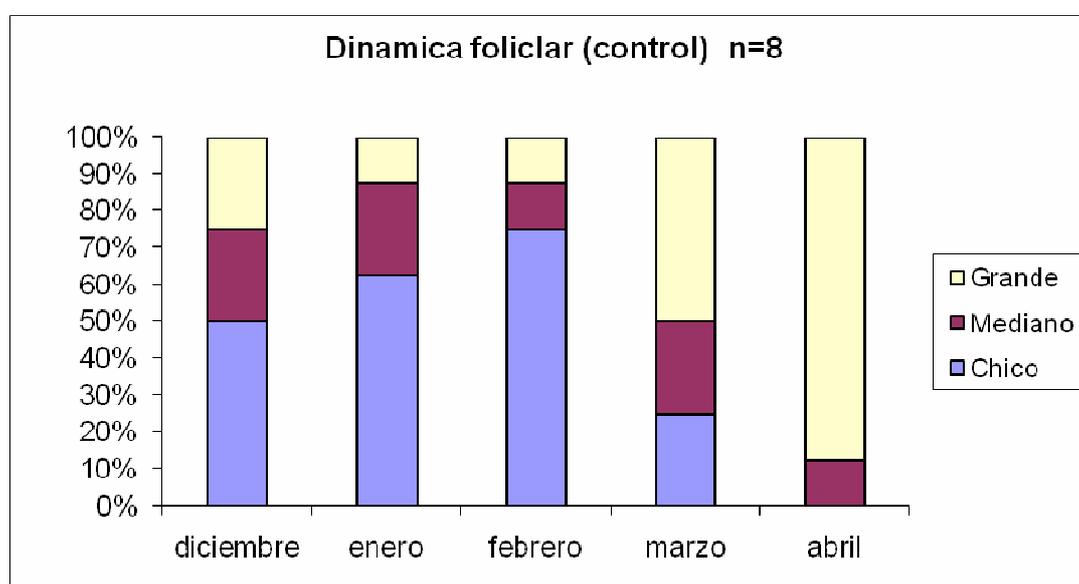
- Representa el periodo de actividad ovárica después de la primera ovulación del año.
- Representa el periodo de desarrollo folicular previo a la primera ovulación del año.
- Representa los periodos de estro
- Indica la primera ovulación del año
- Indica las subsecuentes ovulaciones



**Fig. 6.2.** Representación semanal del periodo de anestro y actividad ovárica en las yeguas del grupo experimental.

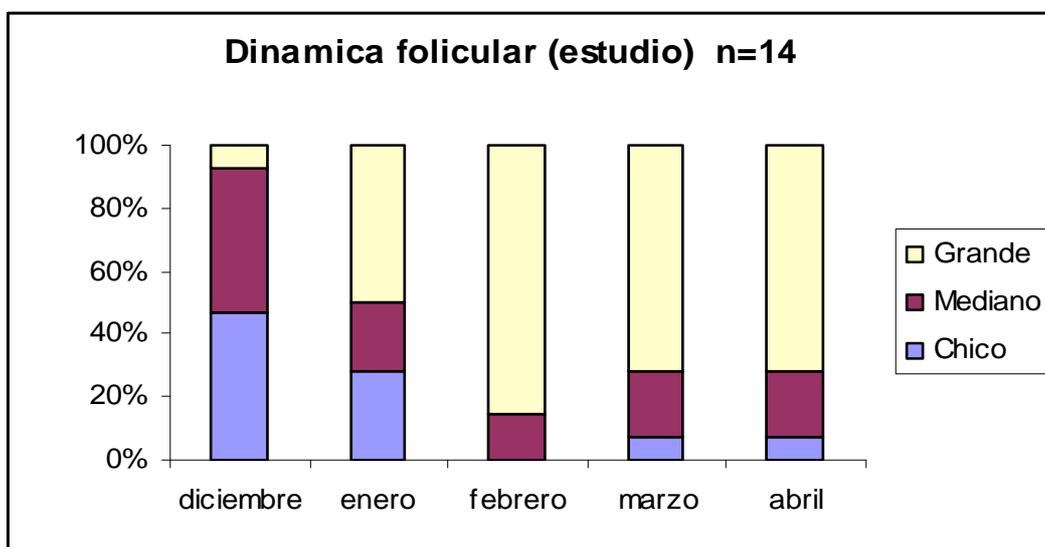
- █ Representa el periodo de actividad ovárica después de la primera ovulación del año.
- █ Representa el periodo de desarrollo folicular previo a la primera ovulación del año.
- ⊠ Representa los periodos de estro
- ▲ Indica la primera ovulación del año
- ◀ Indica las subsecuentes ovulaciones

En la figura 6.3 se muestra la distribución de las yeguas del grupo testigo de acuerdo al tamaño del folículo más grande observado en los ovarios en cada mes. En los meses de enero, febrero y marzo solamente una o dos yeguas desarrollaron folículos grandes, y más de la mitad de las yeguas solamente alcanzaron a desarrollar folículos pequeños. En marzo se produjo un súbito incremento en el porcentaje de yeguas que desarrollaron folículos grandes, y en abril todas menos una desarrollaron folículos grandes.



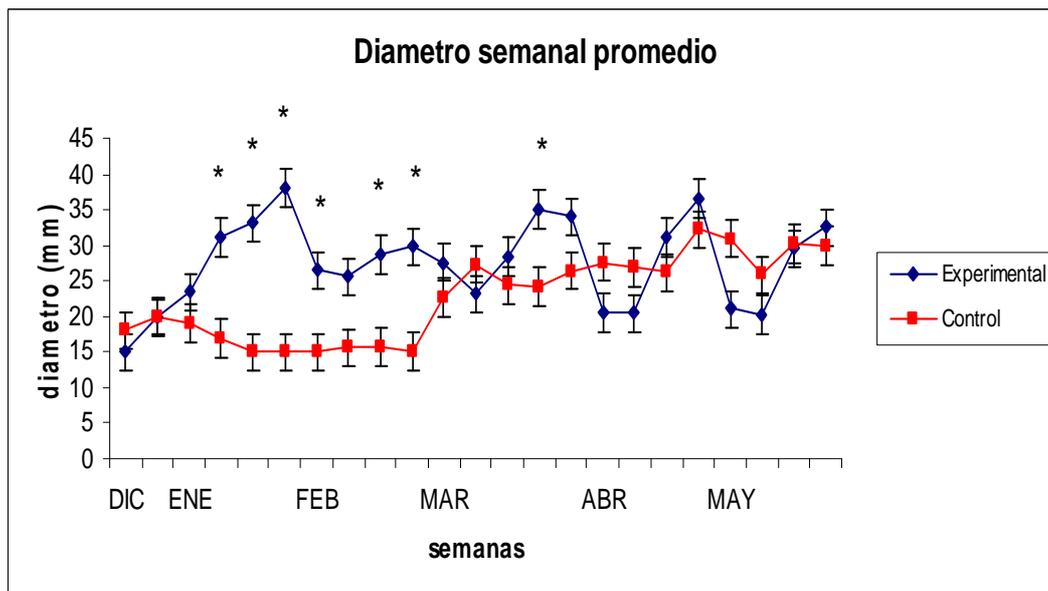
**Fig. 6.3.** Porcentaje de yeguas del grupo testigo en las que el folículo más grande detectado durante cada mes fue clasificado como pequeño (menor a 15 mm), mediano (15 a 30 mm) o grande (mayor a 30 mm).

En la figura 6.4 se muestra la distribución de las yeguas del grupo experimental de acuerdo al tamaño del folículo más grande observado en los ovarios en cada mes. Se observa que a partir del mes de enero comenzó a aumentar el porcentaje de yeguas con folículos grandes, y durante los meses de febrero, marzo y abril la mayoría de las yeguas estaban desarrollando folículos grandes, muchos de los cuales llegaban a ovular.



**Fig. 6.4.** Porcentaje de yeguas del grupo experimental en las que el folículo más grande detectado durante cada mes fue clasificado como pequeño (menor a 15 mm), mediano (15 a 30 mm) o grande (mayor a 30 mm).

En la figura 6.5 se muestra el diámetro promedio del folículo más grande desarrollado en cada yegua durante cada semana. En el grupo testigo los folículos se mantuvieron en promedio alrededor de los 15 mm de diámetro, aumentando alrededor de los 25 mm en los meses de marzo y abril y llegando a los 30 mm en mayo. En contraste, en el grupo experimental el diámetro promedio del folículo mayor aumentó en forma sostenida durante el mes de enero, llegando a ser cercano a los 40 mm, para reducirse posteriormente y mostrar un aparente patrón cíclico cada 3 o 4 semanas. Durante casi todo el mes de enero y febrero los diámetros promedio fueron significativamente mayores en el grupo experimental que en el grupo testigo ( $p < 0.05$ )



**Fig. 6.5.** Diámetro semanal promedio del mayor folículo en las yeguas testigo y las yeguas expuestas a fotoperiodo artificial.

Como se muestra en el cuadro 1, las yeguas del grupo experimental ovularon significativamente más pronto que las del grupo testigo ( $p < 0.05$ ). No existieron diferencias entre grupos con respecto a la duración del intervalo entre el desarrollo del primer folículo grande y la ovulación (periodo de transición tardía indicado con barras azul claro en las figuras 6.1 y 6.2)

**Cuadro 1.** Características del periodo anovulatorio de yeguas mantenidas en fotoperiodo natural y yeguas expuestas a fotoperiodo de 16 h luz y 8 h oscuridad.

Variable	Testigo (n=8)	Experimental (n=12)
Intervalo desde el comienzo del experimento* a la primera ovulación (días, promedio $\pm$ error estándar)	137.25 $\pm$ 15.01 <sup>a</sup>	88.42 $\pm$ 5.8 <sup>b</sup>
Duración mínima, máxima y (rango) del periodo anovulatorio (días).	70-196 (126)	0-158 (158)
Duración del periodo de transición tardío (días, promedio $\pm$ error estándar)	37.63 $\pm$ 6.6 <sup>a</sup>	30.92 $\pm$ 2.2 <sup>a</sup>

\*El comienzo del experimento fue el 1º de diciembre ( $p < 0.05$ )

En el cuadro 2 se muestran la longitud del periodo anovulatorio de cada yegua, como puede observarse, solamente el 25 % de las yeguas del grupo testigo tuvieron periodos anovulatorios menores a 100 días, mientras que en el 79 % de las yeguas expuestas al fotoperiodo artificial la duración del periodo anovulatorio fue menor a 100 días. Una yegua del grupo experimental nunca dejó de mostrar actividad ovulatoria cíclica.

**Cuadro 2. Duración del periodo anovulatorio (días) en las yeguas del grupo testigo y del grupo experimental.**

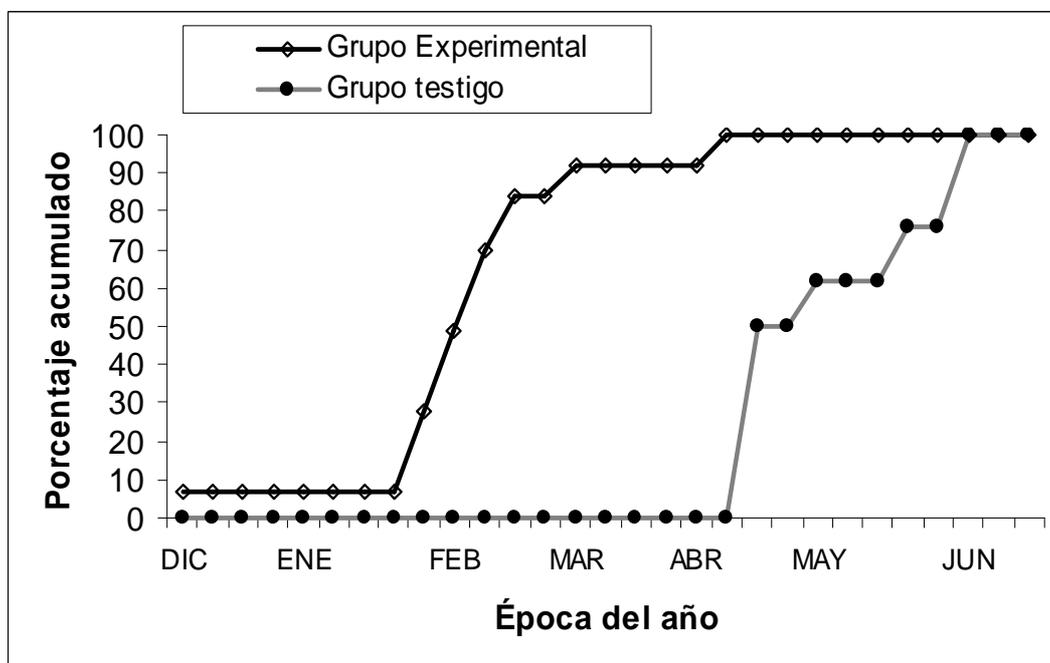
TESTIGO		EXPERIMENTAL	
Yegua	Longitud del periodo anovulatorio (días)	Yegua	Longitud del periodo anovulatorio (días)
55	99	Canas	94
484	141	Tomasa	89
889	125	Vaca	68
272	119	Ani	89
955	196	Wila	102
491	173	Estefi	90
997	175	Punk	96
437	70	Gloria	97
		Morena	75
		Luna	109
		Plata	70
		Pubi	82
		Angustias	158
		Guanabana	0

La duración del periodo anovulatorio se midió desde la destrucción del último cuerpo lúteo de una época ovulatoria hasta la primera ovulación de la siguiente época ovulatoria.

Durante la etapa anovulatoria en la mayoría de las yeguas de los dos grupos se presentaron periodos en los que respondieron al recelado con uno o mas signos de estro (espejeo, micción, vocalizaciones, interés frente al macho, lordosis) a pesar de no tener folículos grandes. Estos estros anovulatorios se presentaban a intervalos irregulares. La duración promedio de los estros anovulatorios de ambos grupos fue de 12 días (figuras 6.1 y 6.2).

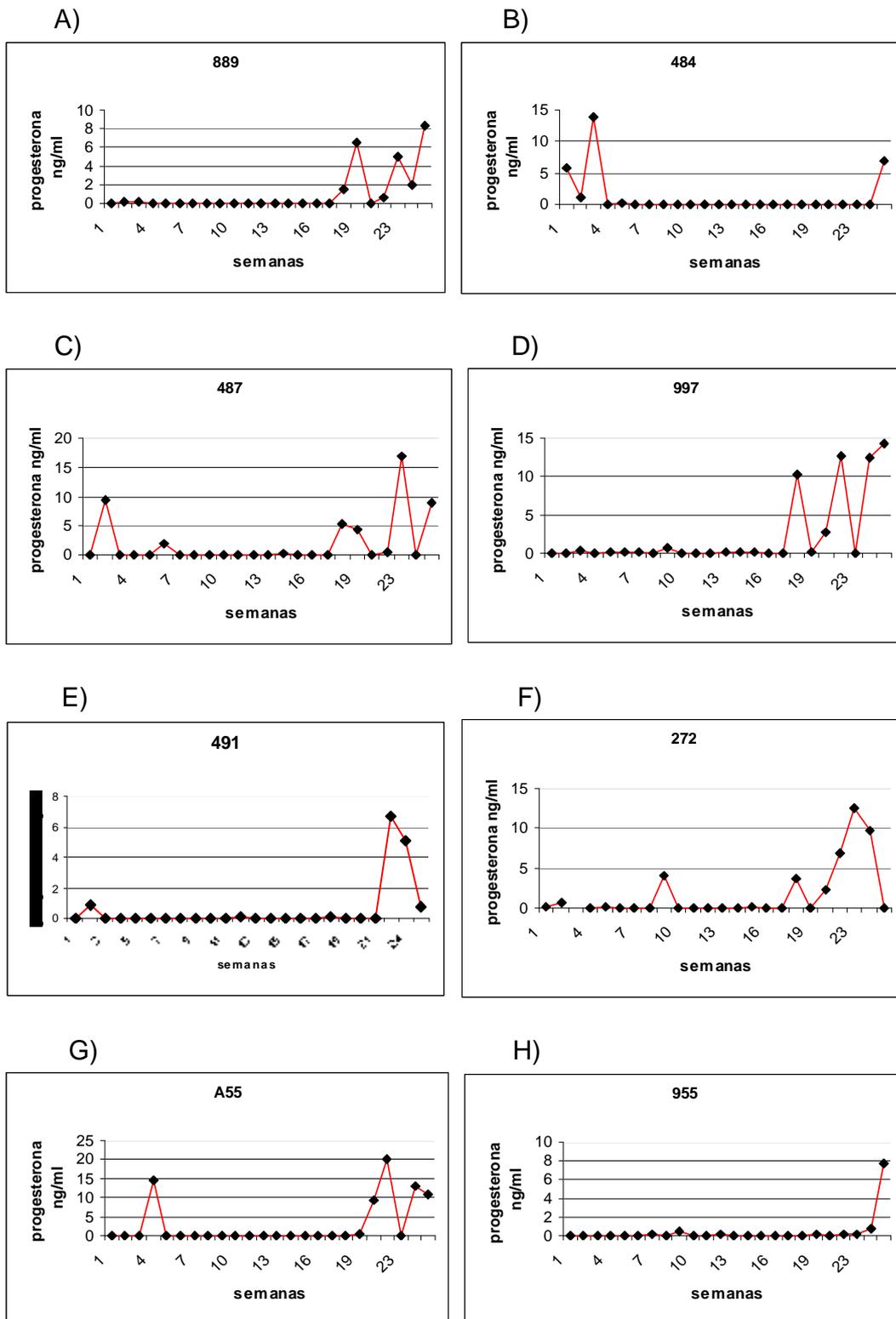
En ambos grupos, durante la etapa de transición también se presentaron estros acompañados por la presencia de un folículo de talla preovulatoria que sin embargo no llegaba a ovular. En la mayoría de los casos la primera ovulación se presentó a partir de un folículo grande acompañado de signos de estro durante dos o más semanas antes de presentarse la ovulación.

En la figura 6.6 se ilustra la distribución del reinicio de la actividad ovulatoria en los dos grupos. Como puede observarse, en el grupo experimental una yegua nunca dejó de ciclar. En las yeguas que si tuvieron un periodo anovulatorio se presentaron las primeras ovulaciones durante la primera semana de febrero, cuando las yeguas llevaban 9 semanas expuestas al fotoperiodo artificial. Cinco semanas después, todas las yeguas del grupo habían tenido su primera ovulación. En contraste, en el grupo testigo las primeras yeguas que ovularon lo hicieron hasta el mes de abril, cuando habían transcurrido 19 semanas desde el inicio del estudio, requiriéndose 7 semanas más para que todas las yeguas llegaran a su primera ovulación

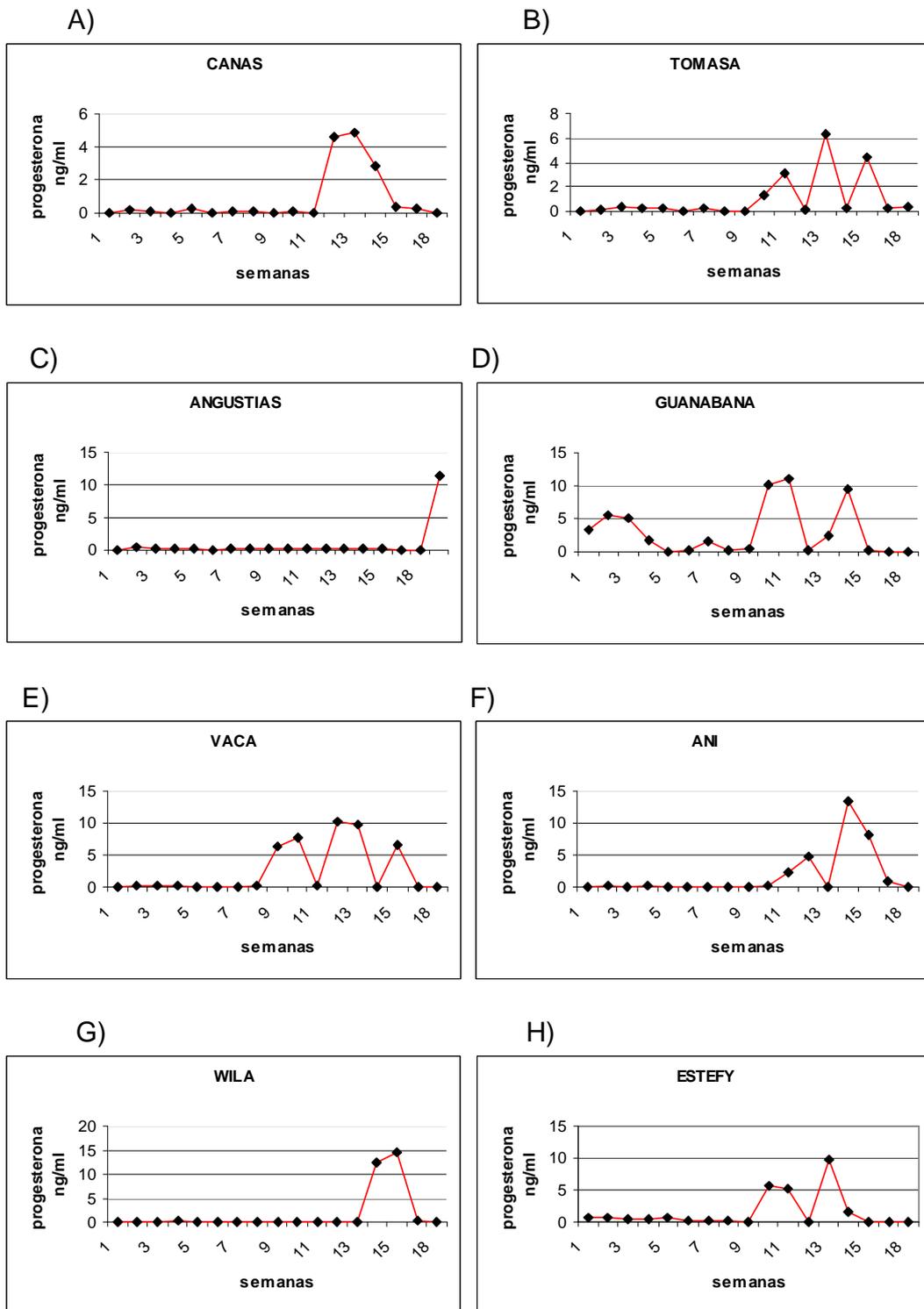


**Fig. 6.6.** Porcentaje acumulado de yeguas expuestas o no a fotoperiodo artificial que habían reiniciado la actividad ovulatoria en diferentes periodos del año.

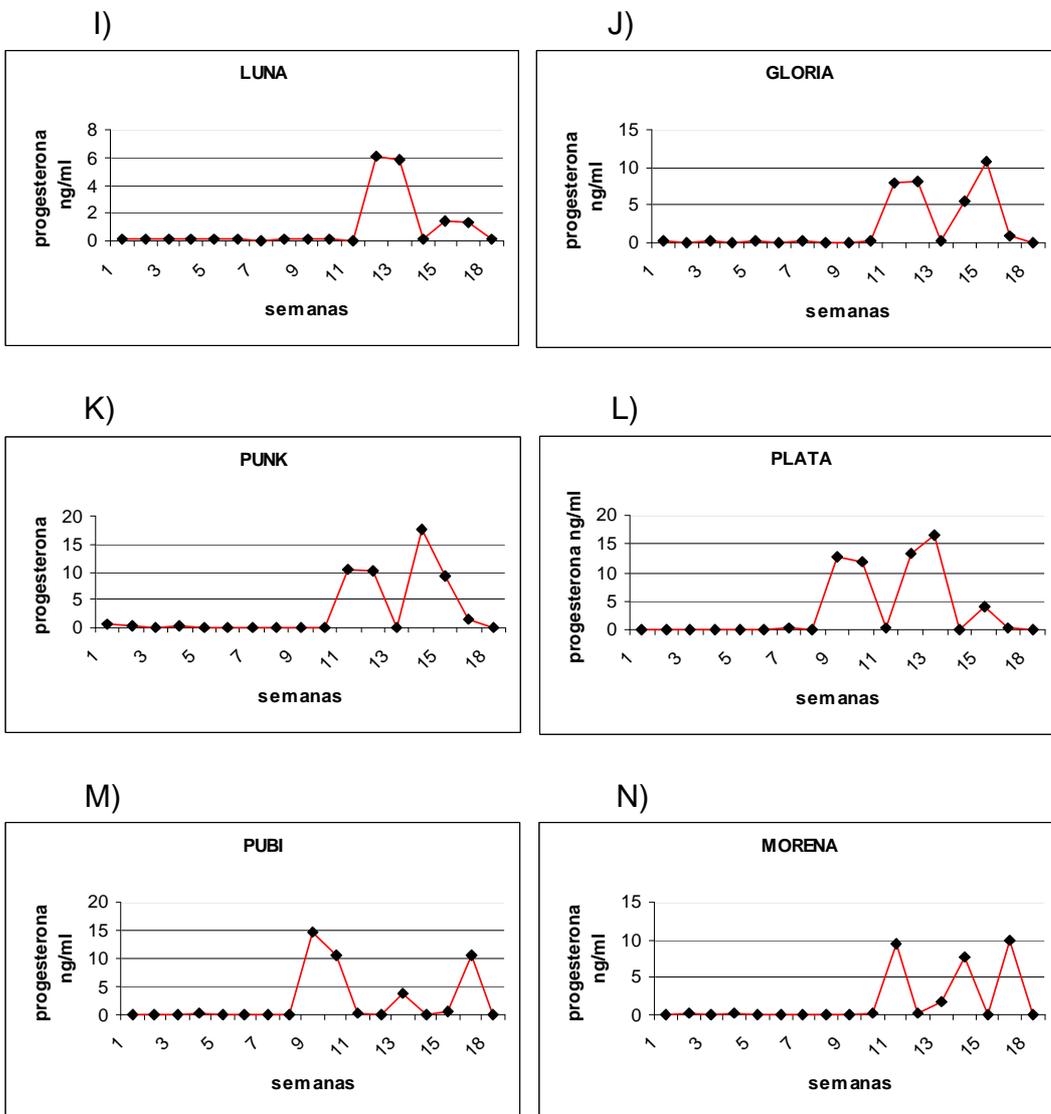
En la figura 6.7 se presentan los perfiles individuales de progesterona de las yeguas testigo a lo largo del estudio y en la figura 6.8 los de las yeguas experimentales. Como puede observarse, en las yeguas de ambos grupos la progesterona se mantiene en concentraciones basales durante varias semanas o meses, pero una vez que se produce la primera ovulación se restablece un patrón de actividad ovárica cíclica regular, con elevaciones y caídas de las concentraciones de progesterona a intervalos de aproximadamente tres semanas.



**Fig. 6.7.** (A-H) Perfiles semanales de progesterona en yeguas del grupo testigo desde el primero de diciembre (muestra 1) hasta junio (muestra 25).



**Fig. 6.8.** Perfiles semanales de progesterona en 8 yeguas del grupo experimental desde el inicio del programa de fotoperiodo artificial (1° de diciembre) hasta la primera semana de abril.



**Fig. 6.8 (continuación).** Perfiles semanales de progesterona en 6 yeguas del grupo experimental desde el inicio del programa de fotoperiodo artificial (1° de diciembre) hasta la primera semana de abril.

## VII. DISCUSION

El presente estudio fue realizado en un sitio (19 °N )en el que la variación máxima en la longitud del fotoperiodo a través del año es de solo 2 horas (Saltiel et al, 1982), y varias investigaciones han sugerido que la estacionalidad reproductiva de la yegua puede reducirse en latitudes en las que el cambio en la duración del día a lo largo del año no es muy marcado (Donadeu y Watson, 2007; Guillaume et al, 2000). Sin embargo, los resultados del estudio demuestran que las yeguas criollas localizadas a los 19 °N tienen un patrón de reproducción estacional regido por el fotoperiodo, el cual puede ser modificado por medio de su exposición a fotoperiodo artificial.

La mayoría de las yeguas del grupo testigo presentaron un patrón estacional muy similar al reportado en latitudes en las que la variación en la longitud del día a lo largo del año es más grande [Arthur, 1958 (51° 30`N); Freedman et al, 1979 (43° N); Ginther, 1974 (38° 33`N)], con un periodo anovulatorio real de duración variable que se presenta entre los meses de noviembre y mayo.

En el presente trabajo, la exposición a un fotoperiodo de 16 horas luz y 8 horas de oscuridad (16L:8D) adelantó en promedio 49 días el inicio de la época ovulatoria, lo que es similar a lo encontrado en experimentos realizados en latitudes mas elevadas (Freedman et al, 1979; Malinowski et al, 1985; Oxender et al, 1977). La duración del periodo anovulatorio de las yeguas expuestas al fotoperiodo artificial en el presente trabajo ( $88.4 \pm 5.8$ ) indica que las yeguas respondieron en forma muy favorable al fotoperiodo artificial, ya que no solamente fue significativamente menor que la duración del periodo anovulatorio de las yeguas testigo ( $137 \pm 15$  días), sino que fue más corto que el informado por otros autores utilizando el mismo programa de luz artificial, como Freedman et al, en 1979 ( $101 \pm 2$  días), Scraba y Ginther en 1985 ( $100 \pm 1$  días) y Malinowski et al, en 1985 ( $105 \pm 3$  días).

Esto permitió que la mayoría de las yeguas expuestas al fotoperiodo artificial comenzaran a ciclar durante los meses de febrero y marzo, que corresponden al periodo en el cual es conveniente dejar gestantes a las yeguas cuando existe la necesidad de que paran al inicio del año calendario.

Muchos autores concuerdan en que el número total de horas luz en un programa de fotoperiodo artificial no es esencial para que la percepción que tienen las yeguas de la longitud del día acelere el inicio de la actividad ovárica (Palmer et al, 1982; Malinowski et al, 1985; Scraba y Ginther, 1985; Nagy et al, 2000). Tampoco es necesario que las yeguas sean expuestas a incrementos graduales en la longitud del día similares a los que ocurren en forma natural a partir del solsticio de invierno. Lo importante para obtener una respuesta es que la yegua perciba un incremento en la longitud del día con respecto al fotoperiodo natural al que ha estado expuesta antes de iniciar la exposición a fotoperiodo artificial y que esta exposición sea recibida durante la fase fotosensible que tienen las yeguas (Malinowski et al., 1985; Palmer et al., 1982).

Antes de iniciar el presente experimento las yeguas estaban expuestas a un fotoperiodo natural de aproximadamente 11 horas de luz y 13 de oscuridad, por lo que la exposición al fotoperiodo artificial resultó en un repentino incremento de aproximadamente 5 horas en la duración del periodo luminoso, el cual fue suficiente para acelerar el inicio de la época ovulatoria.

En cuanto al periodo de transición tardío ocurrido desde el inicio de la actividad folicular hasta la ovulación se pudo observar una leve diferencia en cuanto a la duración de este periodo en el grupo experimental y el control ( $31\pm 2$  y  $38\pm 7$  días respectivamente); lo cual está de acuerdo a lo observado por algunos autores ya que se trata de periodo de longitud muy variable que puede durar desde 30 hasta 90 días (Donadeu y Watson, 2007).

Como se observa en las figuras 6.1 y 6.2, ambos grupos presentaron considerable variación individual tanto en la duración del periodo anovulatorio como en la fecha de inicio del periodo ovulatorio. En el caso del fotoperiodo artificial, a pesar de que la respuesta fue bastante similar en la mayoría de las yeguas (11 de las 14) tuvieron su primera ovulación en un periodo de 4 semanas), se presentaron excepciones que variaron desde nunca presentar un periodo anovulatorio (yegua Guanabana), hasta un retraso de alrededor de dos meses con respecto a la mayoría de las yeguas (yegua Angustias). Estas diferencias han sido encontradas por otros autores y pueden deberse entre otras cosas a diferencias de edad, diferencias genéticas, y diferencias en el estado corporal de los animales (Carnevale et al, 1997; Fitzgerald y McManus, 2000; Wesson y Ginther, 1982).

La yegua Guanábana del grupo experimental mantuvo actividad ovulatoria regular durante todo el periodo de estudio (figura 6.2, figura 6.8D). Otros autores han informado que la manipulación del fotoperiodo esta acompañada por una proporción de yeguas que exhiben actividad reproductiva continua, predominantemente si son animales viejos, los cuales al parecer pueden responder tan rápidamente al fotoperiodo artificial que son estimuladas antes de que dejen de ciclar a finales de diciembre o principios de enero, por lo que la estación ovulatoria simplemente se prolonga (Palmer et al, 1982; Malinowski et al, 1985; Scraba y Ginther, 1985; Nagy et al, 2000). Sin embargo, en el presente trabajo el caso de la yegua Guanábana podría no estar relacionado con el tratamiento, ya que en el rancho en el que se llevó a cabo el estudio se ha informado que algunas yeguas mantienen actividad ovulatoria continua sin necesidad de tratamiento alguno (Boeta et al, 2006).

La yegua "Angustias" no respondió a la exposición al fotoperiodo artificial, ya que su primera ovulación se presento hacia mediados de abril, que corresponde al periodo en que las yeguas testigo comenzaron a ovular. No es posible señalar la causa de esta falta de respuesta, ya que se trataba de una yegua madura y aparentemente sin ninguna experiencia anterior a fotoperiodos manipulados, lo

cual hace difícil pensar que se trate de un periodo fotorefractario como el que menciona Nagy et al (2000).

En todos los estudios que se han realizado en diversos sitios se ha encontrado un incremento gradual de la actividad folicular antes de la primera ovulación del año de la yegua, que se manifiesta tanto en un incremento del diámetro folicular como en un aumento en la frecuencia de presentación (Carnevale et al, 1997; Freedman et al, 1979; Ginther, 1990).

Durante el periodo de transición vernal los ovarios presentan oleadas de desarrollo folicular caracterizadas por una fase de crecimiento, estasis y regresión de folículos dominantes anovulatorios, presentándose un promedio de 3.7 folículos dominantes anovulatorios mayores a 30 mm de diámetro, a intervalos promedio de 9.9 días (Donadeu y Ginther, 2002; Watson et al, 2002), lo que resulta en un periodo de transición de entre 30 y 40 días, tal como el encontrado en el presente estudio tanto en las yeguas del grupo testigo como en las expuestas a fotoperiodo artificial.

Los resultados del presente trabajo sugieren que el efecto del fotoperiodo artificial consiste básicamente en adelantar el inicio de la etapa de desarrollo de folículos grandes, los cuales comenzaron a aparecer a finales de diciembre y principios de enero en el grupo experimental, mientras que en el grupo testigo comenzaron a aparecer hasta el mes de marzo (figuras 6.1, 6.2, 6.3, 6.4). En cambio, el intervalo que transcurrió desde la aparición del primer folículo grande hasta la primera ovulación (periodo de transición) fue similar en ambos grupos (Cuadro 1), lo que sugiere que todas las yeguas deben pasar por un periodo de transición caracterizado por la presencia de folículos grandes persistentes, y que la exposición al fotoperiodo artificial no elimina esta necesidad.

El efecto estimulador del fotoperiodo artificial sobre el desarrollo de folículos grandes es muy rápido, ya que en la mayoría de las yeguas los folículos grandes comenzaron a aparecer en los ovarios entre la tercera y la quinta semana de exposición al fotoperiodo artificial, mientras que en el grupo testigo comenzaron a aparecer alrededor de 8 semanas después.

Aunque el efecto estimulador de la exposición al fotoperiodo artificial solamente requiere de 3 o 4 semanas, en términos reproductivos prácticos el efecto se observa hasta que se produce la primera ovulación, lo que en el presente experimento ocurrió durante el tercer mes de exposición al fotoperiodo debido a que las yeguas estimuladas aún deben pasar por el periodo de transición. Esto sugiere que una posibilidad adicional de control artificial de la reproducción consistiría en combinar la exposición a fotoperiodo artificial con algún tratamiento que redujera la duración del periodo de transición, como sería la aplicación de hormonas inductoras de la ovulación (GnRH o hCG).

Por otra parte, la conducta estral estuvo presente en todas las yeguas durante el periodo anovulatorio, tal como lo reportan estudios anteriores (Ginther, 1974; Boeta et al, 2006;) lo cual puede ser un efecto de los bajos niveles de progesterona o puede ser debido a la presencia estimulante del garráñon (Irvine y Alexander, 1998). La exposición al fotoperiodo artificial no modificó la ocurrencia o frecuencia de estros anovulatorios.

## **Conclusiones**

Nuestros resultados sugieren que el modelo de fotoperiodo artificial de 16 horas luz continuas y 8 horas de oscuridad, iniciado el primero de diciembre, estimula óptimamente el desarrollo folicular y adelanta el tiempo de ovulación en yeguas anéstricas localizadas en 19° 9`N, demostrando que el estímulo de luz adecuado adelanta considerablemente el inicio del desarrollo de folículos grandes sin afectar la duración del periodo de transición. Como resultado, la exposición a fotoperiodo artificial acorta la duración del periodo anovulatorio y adelanta la primera ovulación del año en yeguas criollas localizadas en latitudes cercanas al ecuador.

## VIII. LITERATURA CITADA

- 1.- Arthur GH. An analysis of the reproductive function of mares based on post-mortem examination. *Vet Rec* 1958;70:682-686.
- 2.- Acosta TJ, Beg MA, Ginther OJ. Aberrant blood flow and plasma gonadotropin concentration during the development of dominant-sized transitional anovulatory follicles in mares. *Biol Reprod* 2004;71:637-642).
- 3.- Alexander SL, Irvine CHG. En: McKinnon A, Voss J, editores. *Equine Reproduction*. USA, Williams and Wilkins, 1993.
- 4.- Boeta M, Porras A, Zarco L, Aguirre-Hernández R.. Ovarian activity of the mare during winter and spring at a latitude of 19° 21` North. *J. Equine Vet Sci* 2006;26:55-58.
- 5.- Bogh IB, Hoier R, Synnestvedt B, Greve T. Steroid concentrations in follicular fluid aspirated repeatedly from transitional and cyclic mares. *Theriogenology* 2000;54:877-888.
- 6.- Carnevale EM, Hermetet MJ, Ginther OJ. Age and pasture effects on vernal transition in mare. *Theriogenology* 1997;47:1009-1018.
- 7.- Daels PF. En: McKinnon A, Voss J, editores. *Equine Reproduction*. USA, Williams and Wilkins, 1993.
- 8.- Daels PF, Besognet B. Manipulation of the estrous cycle in the mare: clinical aspects. *Reprod Dom Anim* 1998;33:101-102.
- 9.- Davis SD, Sharp DC. Intra-follicular and peripheral steroid characteristics during vernal transition in the pony mare. *J Reprod Fertil (suppl 44)* 1991:333-340.
- 10.- Donadeu FX, Ginther OJ. Effects of number and diameter of follicles on plasma concentrations of inhibin and FSH in mares. *Reproduction* 2001;121:897-903.

- 11.- Donadeu FX, Ginther OJ. Changes in concentrations of follicular fluid factors during follicle selection in mares. *Biol Reprod* 2002; 66: 1111-1118.
- 12.- Donadeu FX, Ginther OJ. Interrelationships of estradiol, inhibin, and gonadotropins during follicle deviation in pony mares. *Theriogenology* 2003;61:1395-1405.
- 13.- Donadeu FX, Thompson DL. Administration of sulpiride to anovulatory mares in winter: Effects on prolactin and gonadotropin concentration, ovarian activity, ovulation and hair shedding. *Theriogenology* 2002;57:963-976.
- 14.- Donadeu FX, Watson ED. Seasonal changes in ovarian activity: lessons learnt from the horse. *Anim Reprod Sci* 2007;100:225-242.
- 15.- Fink G; En Knobil E, Neil JD editores. *Encyclopedia of Reproduction vol.2. USA, Academic Press, 1998.*
- 16.- Fitzgerald BP, Affleck KJ, Barrow SP, Murdoch WL, Barker KB, Loy RG. Changes in LH pulse frequency and amplitude in intact mares during the transition into the breeding season. *J Reprod Fertil* 1987;79:485-493.
- 18.- Fitzgerald BP, McManus CJ. Photoperiodic versus metabolic signals as determinants of seasonal anestrus in the mare. *Biol Reprod* 2000;63:335-340.
- 19.- Freeman LJ, Garcia MC, Ginther OJ. Influence of photoperiod and ovaries on seasonal reproductive activity in mares. *Biol Reprod* 1979;20:567-574.
- 20.- Ginther OJ. Occurrence of anestrus, estrus, diestrus, and ovulation over 12-month period in mares. *Am J Vet Res* 1974;35:1173-1179.
- 21.- Ginther OJ. Folliculogenesis during the transitional period and early ovulatory season in mares. *J Reprod Fert* 1990;90:311-320.
- 22.- Ginther OJ. "Reproductive Biology of the Mare". USA, Edit. Equiservices Publishing, Cross Plains, 1992.

- 23.- Ginther OJ, Gastal EL, Gastal MO, Beg MA. Seasonal influence on equine follicle dynamics. *Anim Reprod* 2004;1:31-44.
- 24.- González FM, Valencia MJ. Estudio del comportamiento reproductivo de la yegua en México. *Vet Mèx* 1977;8:19-23.
- 25.- Guerin MV, Wang XJ. Environmental temperature has an influence on timing of the first ovulation of seasonal estrus in the mare". *Theriogenology* 1994;42:1053-1060.
- 26.- Guillaume D, Arnaud G, Camillo F, Duchamp G, Palmer E. Effects of melatonin implants on reproductive status of mare". *Biol Reprod* 1995;1:435-442.
- 27.- Hart PJ, Squires EL, Imel KJ, Nett TM. Seasonal variation in hypothalamic content of gonadotropin-releasing hormone (GnRH), pituitary receptors for GnRH, and pituitary content of luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone in the mare. *Biol Reprod* 1984;30:1055-1062.
- 28.- Irvine CHG, Alexander SL. Managing the mare for optimal fertility. *J Equine Sci* 1998;9:83-87.
- 29.- Irvine CHG, Alexander SL, McKinnon AO. Reproductive hormone profiles in mares during the autumn transition as determined by collection of jugular blood at 6 h intervals throughout ovulatory and anovulatory cycles. *J Reprod Fertil* 2000;118:101-109.
- 30.- King SS, Neumann KR, Nequin LG, Weedman BJ . Time of onset and ovarian state prior to entry into winter anestrus. *J of Equine Vet Sci* 1993;13:512-515.
- 31.- Koskinen E, Huntinen M, Katila T. Serum progesterone levels in mare in winter and during transitional periods". *Acta Vet Scand* 1996;37:409-414.
- 32.- Kubiak JK, Crawford BH, Squires EL, Wrigley RH, Ward GM. The influence of energy intake and percentage of body fat on the reproductive performance of nonpregnant mare. *Theriogenology* 1987;28:587-598.

- 33.- Love ChC, Blanchard TL, Varner DD . Manual of Equine Reproduction". USA Edit. Mosby. 2003.
- 34.- Malinowki K, Johnson AL, Scanes CG. Effects of interrupted photoperiods on the induction of ovulation in anestrus mares. J Anim Sci 1985;61:951-955.
- 35.- Nagy P, Guillaume D, Daels P. Seasonality in mares. Anim Reprod Sci 2000: 60-61: 245-262.
- 36.- Nequin LG, King SS, Roser JF, Soderstrom BL, Carnevale EM. Uncoupling of the equine reproductive axes during transition into anoestrus. J Reprod Fertil 2000: 56: 153-161.
- 37.- Oxender WD, Noden PA, Hafs HD. Estrus, ovulation and serum progesterone, estradiol, and LH concentrations in mares after an increased photoperiods during winter. Anim J Vet Res 1977;38:203-207.
- 38.- Palmer E, Driancourt MA, Ortavant R. Photoperiodic stimulation of the mare during winter anoestrus. J Reprod Fertil Suppl 1982;32:275-282.
- 39.- Palmer E, Guillaume D. Photoperiodism in the equine species—what is a long night?. Anim Reprod Sci 1992;28:21-30.
- 40.- Saltiel A, Calderón A, García N, Hurley DP. Ovarian activity in the mare between latitude 15° y 22° N. J Reprod Fertil Suppl 1982;32:261-267.
- 41.- Scraba ST, Ginther OJ. Effects of lighting programs on onset of the ovulatory season in mares. Theriogenology 1985;24:667-679.
- 42.- Sharon L. Sexual behavior of the mare. Hormones and Behavior 2007;52:12-17.
- 43.- Sharp DC. En: Knobil E, Neill JD, Encyclopedia of Reproduction. vol. 2". USA, Edit. Academic Press. 1998.

- 44.- Sharp DC, Grubaugh WR, Weithenauer J, Davis SD, Wilcox CJ. Effects of steroid administration on pituitary luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone in ovariectomized pony mares in the early spring: pituitary responsiveness to gonadotropin-released hormone and pituitary gonadotropin content. *Biol Reprod* 1991;44:983-990.
- 45.- Silva PJ, Squires EL, Nett TM. Changes in the hypothalamic-hypophyseal axis of mares associated with seasonal reproductive recrudescence. *Biol Reprod* 1986;35:897-905.
- 46.- Vázquez-Dueñas S, Escobar-Medina FJ, Colina-Flores F, Hayden-Valles S. Comportamiento reproductivo de yeguas Pura Sangre Inglés en un criadero de partos al principio del año. *Rev Biomed* 2004;15:27-31.
- 47.- Watson ED, Al-Zi`abi MO. Characterization of morphology and angiogenesis in follicles of mares during spring transition and the breeding season. *Reproduction* 2002;124: 227-234.
- 48.- Watson ED, Heald M, Tsigos A, Leask R, Steel M, Groome NP, Riley SC. Plasma FSH, inhibin A and inhibin isoforms containing pro- and -alpha C during winter anoestrus, spring transition and the breeding season in mares. *Reproduction* 2002;123:535-542.
- 49.- Wesson JA, Ginther OJ. Puberty in the female pony: Reproductive behavior, ovulation, and plasma gonadotropin concentrations. *Biol Reprod* 1981;24:977-986.
- 50.- Weedman BJ, King SS, Neumann KR, Nequin LG. Comparison of circulating estradiol-17 $\beta$  and folliculogenesis during the breeding season, autumn transition and anestrus in the mare. *J Equine Vet Sci* 1993;13:502-505.