



11674
7

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**MAESTRIA EN CIENCIAS DE LA PRODUCCION Y DE LA SALUD
ANIMAL**

**EFFECTO DE PERIODOS CORTOS DE SUMINISTRO DE TRIGO
PROTEGIDO DE LA DEGRADACION RUMINAL SOBRE EL
DESARROLLO FOLICULAR Y LA TASA OVULATORIA EN
CABRAS.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
P R E S E N T A
XOCHITL PASTRANA MARTINEZ

**COMITE TUTORAL: Ph.D. VERA AVILA HECTOR R.
PhD GONZALEZ PADILLA EVERARDO
PhD, MENDOZA MARTINEZ GERMAN D.**

MEXICO, D. F.

2003

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A mis padres: Víctor Manuel Pastrana Castro y Crecencia Martínez Díaz, por el apoyo otorgado durante toda mi vida porque mis logros son sus logros.

Al Dr. Juan López: por su leal apoyo, comprensión y orientación.

A Martín Ramírez Sánchez: Por su apoyo y comprensión para continuar y concluir este trabajo.

2

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por mi formación profesional y a todos mis profesores del programa de posgrado, a los miembros de mi comité por su orientación y sugerencias en la elaboración de este proyecto.

A las instituciones: al INIFAP (Cenid Fisiología Ajuchitlán Colón. Queretaro; Cenid Microbiología, Palo Alto México D.F.). Por las facilidades otorgadas para la elaboración de este trabajo experimental y al CONACYT por su apoyo financiero.

CONTENIDO

RESUMEN	ii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. HIPÓTESIS.....	4
III. OBJETIVOS.....	4
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 CICLO ESTRAL.....	5
4.2 DESARROLLO FOLICULAR	8
4.3 ESTEROIDOGENESIS.....	13
4.4 USO DE ALMIDÓN POR LOS RUMIANTES.....	15
V. MATERIALES Y MÉTODOS	18
VI. RESULTADOS.....	22
VII. DISCUSIÓN.....	30
VIII. CONCLUSIÓN.....	36
IX. LITERATURA CITADA.....	37

TRABAJE CON
FOLLA DE ORIGEN

RESUMEN

El objetivo fue determinar si el consumo de trigo protegido de la degradación ruminal modifica el proceso de desarrollo folicular y tasa ovulatoria en cabras. Se utilizaron 40 cabras criollas asignadas al azar para recibir durante 16 días previos a un estro sincronizado uno de los siguientes suplementos: 1.- trigo duro rolado tratado con una solución de formaldehído al 5% (14ml/100g de MS) mas 15 % de sebo saponificado (TT) y 2.- trigo duro rolado molido sin tratar y por separado lo correspondiente al 15 % de sebo saponificado usado en el tratamiento anterior (TST). Las asignaciones de suplemento se hicieron en ambos grupos de acuerdo al peso metabólico tomando como base lo estimado en el grupo TT para hacer llegar al duodeno 12.57 g de almidón/kg⁷⁵. El resto de la alimentación consistió en heno de alfalfa y rastrojo de maíz en cantidades suficientes para cubrir junto con el suplemento el 100 % de requerimientos nutricionales. El día del estro sincronizado se efectuaron ultrasonografías para determinar las características de las poblaciones foliculares ováricas registrándose el número total de folículos (FT), número de folículos <4 mm (FN) y ≥4 mm (FY) y el diámetro del folículo mayor (ØFY) y del segundo en tamaño (Ø2FY). El día 9 post-estro se efectuó una laparoscopia para determinar la tasa ovulatoria de acuerdo al número de cuerpos lúteos (NCL). El último día de tratamiento y en 4 animales de cada grupo se determinaron las concentraciones séricas de insulina y glucosa durante las 12 h posteriores al consumo del suplemento. El análisis estadístico se realizó mediante Prueba Exacta de Fisher y ANDEVA para diseños completamente al azar o de observaciones repetidas según el caso. No se encontraron diferencias (P >.20) por efecto de tratamiento en el NCL como indicador de tasa ovulatoria ni en las

concentraciones séricas de glucosa posteriores al consumo de los suplementos. Con respecto a las concentraciones séricas de insulina si se observaron diferencias ($P < .05$) en el periodo de 0-8 h postconsumo de los suplementos con concentraciones mayores de insulina en el grupo TT en comparación con TST (6.6 vs. 4.8 $\mu\text{UI/ML}$). Para el caso del desarrollo folicular solo se observó efecto de tratamiento ($P < .05$) en FN con mayor número de folículos < 4 mm en TT con respecto a TST (7.52 y 7.08 folículos respectivamente). El consumo por periodos cortos de TT parece influenciar el proceso de desarrollo folicular en cabras aunque sin alterar la tasa ovulatoria. Lo anterior sin aparentemente influenciar el ingreso de glucosa al torrente circulatorio periférico, pero si provocando un ligero incremento temporal en la secreción de insulina.

I. INTRODUCCIÓN

La reducción prolongada de energía en la dieta retarda la llegada de la pubertad y puede interrumpir la actividad cíclica estral o retardar su reanudación después del parto en los individuos maduros sexualmente. El mecanismo por el cual la restricción de energía afecta la actividad reproductiva, es por disminución en la frecuencia de secreción pulsátil de LH, necesaria para el crecimiento de folículos ováricos hasta el estado preovulatorio. La restricción nutricional inhibe la liberación de LH por una reducción en la frecuencia de secreción de GnRH por el hipotálamo de ovejas (Schillo, 1992). Por otra parte, (Downing *et al.* 1995b) menciona el efecto negativo de la restricción nutricional sobre la actividad reproductiva, se ha observado que el consumo de niveles elevados de energía por periodos relativamente cortos en dietas para ovejas provoca una respuesta positiva al incrementar el número de cuerpos lúteos como evidencia del aumento en número de ovulaciones. De igual manera se ha mencionado la importancia que juega la insulina en el proceso anterior favoreciendo aumentos en la liberación de gonadotropinas (Harrison *et al.*, 1986) y/o actuando directamente a nivel ovárico sobre el proceso de desarrollo folicular (Poretsky *et al.*, 1999) para aumentar de esa manera el número de ovulaciones. Así el incremento en los niveles nutricionales de energía por periodos cortos de tiempo (2 o 3 semanas) antes de la ovulación favorece la tasa ovulatoria. Los efectos que tiene el incremento en el consumo de proteína y energía, además de inducir cambios en la condición corporal, implican influencias a nivel de hipotálamo y gónadas modificando metabolitos sanguíneos circulantes y promoviendo cambios en perfiles hormonales (Downing *et al.*, 1995b; Venter y Greyling, 1994). Downing *et al.*

TRABAJOS CON
FALLA DE ORIGEN

(1995c) estudiaron la posible relación entre las concentraciones de glucosa y la tasa de ovulación después de aplicar infusiones de glucosa (60-65 mM/h) durante 5 días al final de la fase lútea en borregas. Estos autores encontraron que la tasa de ovulación se incrementó sin que aumentaran los niveles de LH Y FSH durante la etapa de infusión aunque si posteriormente durante el inicio de la fase folicular.

De acuerdo a lo anterior, sería de interés el contar con estrategias para promover un incremento en la glicemia como inductor de una mayor secreción endógena de insulina, de tal manera que se pudiera favorecer el desarrollo folicular y la tasa ovulatoria en las especies domésticas. Una alternativa, sería el incrementar el ingreso de glucosa al torrente circulatorio a partir del consumo y utilización de fuentes de glucosa presentes en la dieta. En el caso de los rumiantes, el almidón de los cereales es la principal fuente dietética de glucosa, sin embargo, normalmente es fermentado a nivel ruminal y utilizado por lo microorganismos de este compartimiento por lo que solo una pequeña parte de glucosa pasa a intestino delgado para su digestión y posterior absorción. Existen diversos factores que determinan el grado en el que el almidón de los cereales es fermentado en el rumen, dentro de los cuales se incluyen el tipo y variedad del cereal, así como su procesamiento físico o químico (Huntington *et al.* 1997). En diversos estudios, se ha demostrado que el tratamiento de cereales con formaldehído o la inclusión de jabones de calcio en la dieta reduce la tasa de degradación ruminal del almidón que contienen (Fluharty y Loerch, 1989; McAllister *et al.*, 1990; Huntington *et al.*, 1997). El uso combinado de estos dos agentes protectores, ha demostrado a su vez reducir la degradación *in vitro* de la materia seca de trigos rolados hasta en un 30 % (Ramirez *et al.*, 1999). En caso de lograrse dicha protección en rumiantes

bajo condiciones *in vivo*, se podría promover una mayor afluencia de glucosa al intestino delgado y su absorción como tal para incrementar a su vez las concentraciones circulantes de este metabolito. Como consecuencia la secreción endógena de insulina podría incrementarse, con posibles repercusiones sobre la actividad ovárica dada la relación de esa hormona con la secreción de gonadotropinas y con el proceso de desarrollo folicular (Webb *et al.*, 1999).

II. HIPÓTESIS:

El suministro por periodos cortos de fuentes de almidón protegidas de la degradación ruminal puede mejorar el desarrollo folicular y la tasa ovulatoria en cabras durante la estación reproductiva.

III. OBJETIVO:

Determinar si el consumo por periodos cortos de una fuente de almidón protegida de la degradación ruminal modifica el proceso de desarrollo folicular y la tasa ovulatoria en cabras durante la estación reproductiva.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 CICLO ESTRAL EN CABRAS

El ciclo estral en cabras ocurren aproximadamente cada 21 ± 3 días, el cual se ha dividido de acuerdo a la morfología del ovario y a los cambios en la conducta en cuatro fases: proestro, estro, metaestro y diestro, los cambios conductuales, funcionales y morfológicos durante el ciclo estral son consecuencia de una regulación integral alcanzada entre el hipotálamo, adenohipófisis, ovarios y el útero (Agraz *et al.*, 1984).

El proestro comienza cuando los niveles de progesterona descienden a menos de 1 ng/ml, tiene una duración de 30 a 60 h y se caracteriza por el crecimiento de los folículos preovulatorios; los cuales alcanzan un diámetro máximo de 6 a 10 mm y presentan una gran capacidad de síntesis y secreción de estrógenos e inhibina. (Findlay 1992). La disminución en la concentración circulante de progesterona elimina la retroalimentación negativa sobre la secreción de la hormona luteinizante (LH), la cual debido a esto se secreta en forma de pulsos muy frecuentes y de esa manera estimula la maduración final de los folículos hasta el estadio preovulatorio (Drost y Thatcher, 1992). El estro se inicia con la manifestación de cambios en la conducta de los animales (conducta estral) promovida por la elevada secreción de estrógenos a partir de los folículos preovulatorios. El estro se considera como el día cero del ciclo estral y se caracteriza por ser el período de receptividad sexual (Allrich, 1993); como se mencionó, en esta etapa la producción de estrógenos alcanza su nivel máximo ocasionando la manifestación de los signos de estro o celo y además provocando

un aumento en la turgencia y el tono uterino, debido a un incremento en el flujo sanguíneo a este órgano. Por otra parte la inhibina producida por folículos en crecimiento es capaz de ejercer un efecto inhibitorio en la secreción de la hormona folículo estimulante (FSH) por lo que la concentración circulante de esta hormona disminuye temporalmente (Austin y Short 1982). La elevación en la concentración de estrógenos, al mantenerse por varias horas, desencadena por medio de un mecanismo de retroalimentación positiva la secreción en forma de oleada de LH y FSH conocida como pico preovulatorio de gonadotropinas (Austin y Short 1982); El pico preovulatorio de gonadotropinas ocasiona un cambio en el patrón de esteroidogénesis por lo que los folículos preovulatorios dejan de producir estrógenos interrumpiendo así el circuito de retroalimentación positiva sobre las propias gonadotropinas, así mismo también provoca la ovulación la cual ocurre al final del estro liberando de 2 a 4 óvulos dependiendo de la raza, alimentación y manejo, la duración de esta etapa es de 30 a 60h con un promedio de 2.5 días. (Agraz *et al.*, 1984).

El metaestro se inicia con el fin de la conducta estral, este tiene una duración de 4 a 5 días y se caracteriza por el proceso de formación del cuerpo lúteo (CL). Los niveles de estrógenos y LH descienden en forma rápida asociado con la ovulación, a la vez que se incrementan los de la hormona FSH presentándose un segundo pico de FSH post-ovulatorio, este aumento en los niveles de FSH es debido a la supresión de la retroalimentación negativa ejercida por la inhibina y con esto se inicia el reclutamiento de los folículos que dará origen a la primer onda folicular del ciclo, conforme el CL alcanza su madurez, la progesterona supera la

concentración sanguínea de 1 ng/ml y se considera finalizado el metaestro, iniciándose el diestro (Hansel y Convey, 1983).

En el diestro se desarrolla la máxima actividad lútea por lo que el cuerpo luteo produce altos niveles de progesterona; La elevada concentración circulante de progesterona ejerce una retroalimentación negativa sobre la secreción de LH, la cual se manifiesta como una disminución en la frecuencia de secreción de esta hormona. Sin embargo, durante esta etapa se presentan oleadas de crecimiento folicular con incrementos y descensos de FSH, estrógenos e inhibina, aunque durante las oleadas de crecimiento folicular se producen folículos dominantes, la baja frecuencia de secreción de LH impide que estos alcancen el estadio preovulatorio, por lo tanto durante el diestro dichos folículos son capaces de generar la señal de retroalimentación positiva que induce la oleada preovulatoria de gonadotropinas y la ovulación. Aproximadamente en el día 16 del ciclo el endometrio inicia un patrón de secreción pulsátil frecuente de prostaglandina F2 alfa y al mismo tiempo los receptores a prostaglandinas en el cuerpo lúteo aumentan hasta alcanzar su nivel máximo en el día 18 del ciclo, lo anterior ocasiona la regresión del CL descendiendo la concentración circulante de progesterona. (Hansel y Convey, 1983).

4.2 DESARROLLO FOLICULAR

El proceso del crecimiento continuo y regresión de los folículos antrales que culmina con el desarrollo del folículo preovulatorio representa el proceso de dinámica folicular; algunas especies presentan un patrón de desarrollo folicular en forma de oleadas definidas estas como la sucesión recurrente de la secuencia de reclutamiento, selección y dominancia (Lucy 1992; Driancourt, 2001). En bovinos se producen de 2 a 3 oleadas durante el ciclo estral, cada una de ellas constituida por el crecimiento de 3 a 6 folículos antrales a partir del grupo de folículos antrales pequeños de reserva (folículos de 5 mm de diámetro). Después de varios días, uno de los folículos adquiere un mayor tamaño que los otros y continúan creciendo (folículo dominante), mientras que los demás folículos de la oleada o folículos subordinados tienden a regresar (Ginther, 2000). El folículo dominante al momento de la regresión lútea se vuelve el folículo ovulatorio, la duración de la fase lútea parece determinar, en parte, el número de oleadas foliculares durante un ciclo, los ciclos con 3 oleadas foliculares tienen fases lúteas más largas que los ciclos con 2 oleadas, ya que el folículo dominante en la tercera oleada requerirá más tiempo para completar su desarrollo; las ovejas presentan 3 o 4 oleadas de desarrollo folicular durante el ciclo estral (Noel *et al.*, 1993). En el cerdo la falta de oleadas podría deberse a concentraciones de FSH por debajo del umbral requerido para inducir el evento de reclutamiento e inicio de la oleada, aunque los estudios en cabras son limitados, se ha observado también que los folículos en promedio emergen en hasta 4 oleadas por ciclo. Los folículos con los mayores diámetros fueron los de la oleada 4 (9.7 ± 0.3 mm). En esta especie también se han

observado diámetros foliculares menores en las oleadas 2 y 3, lo que podría indicar, la inhibición provocada por la progesterona (progesterona alta, folículos pequeños). (Driancourt, 2001) La dominancia folicular es débil y se presenta de manera más evidente durante las oleadas 1 y 4 (Ginther y Kot, 1994).

El reclutamiento es el proceso en que un grupo de folículos comienza a madurar debido a una adecuada estimulación por parte de la FSH permitiendo el inicio de una oleada de desarrollo folicular, si esta oleada coincide con la fase folicular lleva a los folículos dominantes hasta el estadio preovulatorio y la ovulación; la fase de desarrollo folicular que se inicia con el reclutamiento también se conoce como fase de foliculogénesis dependiente de gonadotropinas. (Fortune, 1994).

El mecanismo que controla el reclutamiento no se conoce, pero se cree que las mayores concentraciones de FSH en el plasma después de la ovulación pueden estimular este proceso, estas concentraciones requieren un umbral mínimo para inducir el reclutamiento, el cual es muy variable entre animales (Lucy 1992; Driancourt, 2001). El evento de maduración asociado con el reclutamiento folicular inducido por la FSH es la aparición de una actividad incrementada de la enzima aromatasa en las células de la granulosa, el incremento en la actividad de esta enzima se detecta en un tamaño de reclutamiento de 2 mm en ovinos y 3-4 mm en bovinos; este evento aumenta la capacidad del folículo para producir estradiol a partir de andrógenos que se producen en las células de la teca y la FSH reduce también la expresión del mensaje codificador para la proteína ligadora IGF's 2 (IGFBP2). Esto provoca aumentos de IGF-I libre, lo cual actúa en forma sinérgica con la FSH para aumentar después la actividad de la aromatasa; la mayoría de los folículos dentro de una oleada folicular también tienen la capacidad de producir

activina e inhibina, ya que el ARNm que codifica las subunidades α y β ya están presentes en esta etapa de desarrollo, así mismo la folistatina inducida por la liberación de FSH es producida por los folículos en cantidades que aumentan de acuerdo al tamaño del folículo y limitan el tamaño del grupo de folículos reclutados, esto trae como consecuencia que la activina producida se una a la folistatina conforme el folículo crece, inhibiendo su efecto para favorecer la actividad de la FSH; lo anterior junto con la disminución de FSH por efecto del incremento en la secreción de inhibina afecta el desarrollo de los folículos subordinados provocando su atresia, en cuanto a la LH parece estar muy poco involucrada en el control del reclutamiento (Driancourt, 2001; Fortune, 1994).

La selección es el proceso por el cual un folículo es elegido y evita la atresia, con la competencia potencial de conseguir la ovulación; en la selección se elige el folículo dominante y los folículos restantes del grupo los que se convierten en folículos subordinados y sufren atresia. Durante la fase folicular media al momento de la selección, el número de folículos del grupo se ajusta al número de ovulaciones característico de la especie o raza, apareciendo uno o varios folículos dominantes, mientras que los otros folículos regresionan por atresia. Generalmente se espera que el folículo más grande será el ovulatorio; en todas las especies el folículo seleccionado es el primero en desarrollar receptores de LH en las células de la granulosa (Driancourt 2001).

La dominancia es el medio por el cual los folículos seleccionados sobresalen a través de la inhibición del reclutamiento de un nuevo grupo de folículos y limitan el crecimiento posterior y la diferenciación de sus contemporáneos, durante la

dominancia se presenta el crecimiento y la maduración folicular preovulatoria, en este momento ya no hay reclutamiento, la magnitud de la dominancia se define como la diferencia en tamaño entre el folículo dominante y el folículo subordinado más grande (Driancourt, 2001). Una acción característica de la FSH durante el desarrollo folicular preovulatorio es la inducción de los receptores de LH en las células de la granulosa, se piensa que la LH es la hormona clave involucrada en el crecimiento final del folículo dominante mientras que los otros folículos en el grupo sufren atresia, el efecto principal de la LH es estimular la salida de andrógenos por las células de la teca y la inhibina producida en grandes cantidades por las células de la granulosa puede ejercer también una acción parácrina estimuladora sobre la producción de andrógenos, además la baja concentración de activina, junto con las grandes cantidades de IGF1 puede provocar un aumento en la proteólisis de IGFBP4, elevando así la biodisponibilidad de la IGF-I e IGF-II al nivel de las células de la granulosa y de la teca respectivamente, dentro de la capa de la granulosa las IGF-I aumentan la sensibilidad a LH; la secreción de estradiol por el folículo dominante parece surgir por aumentos en la capacidad de las células de la teca para responder a la LH para la secreción de andrógenos y de las células de la granulosa para aromatizarlos para sintetizar estradiol; más del 90% del estradiol circulante se origina del folículo dominante (Gore-Langton y Armstrong, 1988).

Uno de los métodos de estudio para caracterizar en los cambios ováricos que ocurren a través del ciclo estral en cabras es el de la ultrasonografía transrectal la cual es una técnica que permite la visualización de los órganos internos, está técnica utiliza ondas de sonido de alta frecuencia en Megahertz para producir imágenes de los tejidos blandos y órganos internos. Los tejidos de acuerdo a su

densidad tienen la capacidad de reflejar las ondas de sonido y el eco resultante será recibido por los cristales que transforman las vibraciones en corriente eléctrica para ser convertida en imágenes de distintos tonos de gris desde blanco al negro; los tejidos con líquidos (folículos) se muestran de color negro; debido a que no reflejan ondas y se denominan no ecogénicos y los tejidos densos que reflejan ondas se observan en color blanco o diferentes tonos de gris dependiendo de la densidad del tejido. (García *et al.*, 1993).

4.3 ESTEROIDOGENESIS

Las hormonas esteroideas están relacionadas directamente con el control y regulación de la reproducción en rumiantes, siendo las principales el estradiol, progesterona y testosterona que en todos los casos se derivan del colesterol (Thibault 1993).

El substrato para el proceso de esteroidogénesis es el colesterol, el cual bajo condiciones normales en su mayoría es sintetizado en el hígado y transportado a tejidos esteroideogénicos tales como la corteza adrenal, foliculo ovárico, cuerpo lúteo y testículo en la forma de lipoproteínas de alta densidad (HDL) y lipoproteínas de baja densidad (LDL), constituyendo las fuentes más comunes de colesterol para la producción de hormonas esteroideas por el cuerpo luteo (Thibault 1993; Niswender 2002). Las células lúteas son capaces de sintetizar colesterol desde acetato, aunque debido a su capacidad de biosíntesis limitada bajo condiciones normales la mayoría de colesterol usado para la esteroidogénesis es obtenido del torrente sanguíneo en la forma de LDL o HDL, la entrada de LDL's a las células lúteas ocurre por endocitosis mediada por receptores con formación posterior de endosomas, ya que en el interior de la célula, los endosomas se fusionan con lisosomas cuyas enzimas degradan a las LDL's para obtener colesterol libre, que se utiliza en la síntesis de esteroideos o se almacena después de ser transformado en ésteres por la acción de la enzima colesterol ester sintetaza; una vez que se necesita sintetizar hormonas esteroideas los ésteres de colesterol almacenados son hidrolizados por la enzima colesterol esterasa para proveer colesterol libre que pueda ser usado en dicha biosíntesis. El colesterol libre localizado en el citosol es introducido a la membrana interna mitocondrial por

la acción de una proteína denominada STAR (Steroidogenic Acute Regulatory Protein), permitiendo de esa manera que entre en contacto con el complejo enzimático P-450_{sc}/reductasa el cual cataliza su transformación a pregnenolona, la pregnenolona es entonces transferida al retículo endoplásmico liso donde la enzima 3 β -HSD cataliza su conversión a progesterona, esta hormona esteroide es el principal producto de secreción del cuerpo luteo; en otros tejidos esteroideogénicos es utilizado como un producto intermedio para la síntesis de andrógenos y/o estrógenos como es el caso de los folículos ováricos. (Niswender *et al.*, 2000; Niswender, 2002; Palter *et al.*, 2001).

4.4 USO DE ALMIDÓN POR LOS RUMIANTES

La principal fuente de energía en las dietas para los rumiantes es el almidón siendo este el mayor componente energético de los granos de cereal, dado que representa el 70% de su materia seca. (Harmon, 1998). Los cereales más comunes en la alimentación animal son cebada, trigo, maíz, avena y sorgo, de estos el trigo, es el de mayor contenido de almidón (77%), seguido por el maíz y sorgo (72%) y por último la avena y la cebada (58%, 57%) (Huntington, 1997).

El almidón es un polisacárido natural el cual está formado estructuralmente por cadenas no ramificadas de unidades de α -D glucosa unidas mediante los carbonos 1,4 y cadenas ramificadas de unidades de α -D unidas mediante los carbonos 1,4 y 1,6 agregadas para formar una gran molécula, el componente lineal se denomina amilosa y el ramificado amilopectina y los enlaces glucosídicos del esqueleto son α (1 - 4), los de los puntos de ramificación se denominan enlaces α (1 - 6) (Church, 1988; Lehninger, 1995).

El sitio de la digestión del almidón en los rumiantes varía entre especies, además del tipo de procesamiento del grano consumido. La tasa de digestión de almidón en el rumen está determinada por varios factores dentro de los cuales se incluyen la fuente de almidón dietética, la composición de la dieta, las cantidades de alimento consumido por unidad de tiempo, las alteraciones mecánicas, (procesamiento de grano) o químicas (grado de hidratación y gelatinización) de la fuente de almidón y el grado de adaptación de la microbiota ruminal a la dieta (Owens, 1986). La protección contra la degradación ruminal de los nutrientes se presenta en forma natural y en diferentes grados en algunos alimentos o se

produce durante los procesos industriales de obtención y de transformación a que son sometidas, dicha protección también puede inducirse por métodos artificiales como tratamientos físicos o químicos tales como el recubrimiento con materiales resistentes al ataque de la microbiota, un alimento está idealmente protegido cuando su degradabilidad en rumen sea mínima y su digestibilidad real sea máxima en el tracto posterior (Torres, 1992). En relación a lo anterior Fluharty y Loerch (1989) encontraron que al usar niveles crecientes de formaldehído (0,1,2 y el 3%) como tratamiento en la harina de maíz, se disminuía linealmente la degradación ruminal tanto de la materia seca como del almidón, esto fue corroborado posteriormente en otros estudios (McAllister *et al.*, 1990; Oke *et al.*, 1991; Aguirre, 1994). El mecanismo aparentemente asociado a esta reducción en la degradación ruminal es la formación de enlaces entre el almidón y la proteína del grano protegiendo primero del ataque de los microorganismos ruminales, posteriormente al llegar al abomaso las condiciones ácidas en esta sección del tracto digestivo provocan la liberación del almidón para que después sea hidrolizado en el intestino delgado. (Fluharty y Loerch; 1989). Por otra parte, también se ha observado que el uso de grasas saponificadas a sales de calcio integradas a la dieta de rumiantes reduce la tasa de digestión ruminal del almidón (Huntington, 1997), adicionalmente, Pérez *et al.* (1997) encontraron que al incluir un 10% de jabones de calcio en dietas para ovejas lecheras se reducía la degradación ruminal de la materia seca y Ramírez *et al.* (1999) observaron que el tratamiento de trigo con jabones de calcio y formaldehído reducía hasta un 30% la degradación de la materia seca en pruebas de digestibilidad *in vitro*.

A partir de una revisión realizada por Owens *et al.* (1986) utilizando vacas alimentadas con granos procesados de maíz y sorgo encontraron que en el intestino delgado puede ser digerido entre el 47 y 88% del almidón consumido. Así mismo se resalta que en vaquillas alimentadas con los mismos granos, la eficiencia energética es 42% mayor cuando el almidón es digerido en el intestino delgado comparado con la digestión en el rumen. Durante la digestión intestinal del almidón, la α -amilasa secretada por el páncreas hidroliza la amilosa y la amilopectina en forma limitada para obtener dextrinas y oligosacaridos de 2 a 3 unidades de glucosa, estas son a su vez hidrolizadas por varias glucosidasas que se encuentran en la superficie de la mucosa intestinal (Harmon, 1993). El proceso es completado por oligosacaridasas que se localizan en el borde veloso de las microvellosidades intestinales (Harmon, 1992), produciendo con esto glucosa disponible para su absorción o para su metabolismo (Harmon, 1998). Adicionalmente a la eficiencia energética derivada de la digestión intestinal del almidón, la mayor disponibilidad de glucosa para ser absorbida como tal puede a su vez modificar el patrón en la secreción de insulina; por lo tanto las estrategias para aumentar el flujo de almidón hacia el intestino a partir de reducir su degradación ruminal, pueden ser de utilidad cuando se busca influir en procesos regulados por la hormona insulina como es el caso de la función reproductiva.

V. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las instalaciones del Centro Nacional de Investigaciones en Fisiología Animal (INIFAP) en Ajuchitlán, Colón Qro, ubicado a 20° 42' de latitud norte y 100° longitud este, a una altitud de 1990 msnm, con clima semiseco templado, temperatura media anual de 15 °C y precipitación pluvial anual de 460-630 mm (INEGI, 1987). Se utilizaron 40 cabras criollas con fenotipos de Saanen, Toggenburth y granadina; adultas no gestantes, no lactantes con un peso vivo de 25±0.63 kg. Antes del inicio del periodo experimental los animales fueron desparasitados con Ivermectina y clorsulón (Ivomec F Laboratorios prosalud) y vitaminados con vitaminas A, D y E (Aderovet grupo Roussel) para posteriormente ser asignados aleatoriamente a uno de dos tratamientos experimentales:

- 1) Trigo cristalino tratado (TT, n=20); el tratamiento consistió en recubrir el grano de trigo rolado en seco variedad pavón con un 15% de jabones de calcio y un 3% de formaldehído en una solución preparada al 5% a razón de 14 ml por cada 100 g de MS. Otorgado como primer alimento del día.
- 2) Trigo cristalino sin tratar (TST, n=20); utilizando la misma variedad que el tratamiento anterior siendo este molido utilizando una criba (0.5 mm); suministrando los ingredientes (trigo molido y 15 % de jabones de calcio) por separado sin mezclar.

Los animales fueron mantenidos en corraletas individuales durante la mañana (8:00 a 11:00 h). Las cantidades asignadas por animal en ambos grupos se determinaron de acuerdo a su peso metabólico, tomando como base lo estimado



en el grupo TT para hacer llegar al duodeno 12.57 g de almidón por kg ⁷⁵. Lo anterior considerando a su vez resultados previos en cuanto a degradabilidad ruminal *in vitro* e *in situ* de trigo cristalino (Ramírez *et al.*, 1999) tratado en forma similar a la del presente experimento y resultados derivados de estudios de infusión duodenal de almidón y sus efectos sobre la función ovárica (Kreikemeier *et al.*, 1991). El resto de la alimentación para cubrir el 100% de los requerimientos de mantenimiento (NRC, 1981), consistió en el suministro individual de heno de alfalfa picado (35.1 g) y en forma colectiva rastrojo de maíz en greña (consumo promedio de 500 g/cabra/d) más agua fresca a libre acceso.

La duración del periodo experimental fue de 21 días, incluyendo en ellos un periodo de adaptación de 5 días durante el cual se fue incrementando gradualmente (20% por día) la cantidad de suplemento de trigo proporcionada hasta completar el 100% del total estimado para cada cabra; a partir del día 6 y hasta el término del periodo experimental se mantuvo la cantidad ofrecida del suplemento de trigo.

Al término del periodo de adaptación (día 6), se inició un protocolo de sincronización estral (esponjas intravaginales con flurogestona por 9 días más aplicación de una dosis luteolítica de prostaglandinas F2 α el día 7), de tal manera que el estro sincronizado ocurriera aproximadamente a los 11 días con consumo del 100 % de los suplementos de trigo.

La detección del estro sincronizado se hizo a partir del segundo día de retiradas las esponjas por observación directa durante la tarde y con el apoyo de un macho entero adulto cubierto con un peto para evitar la cópula.

Con el objeto de caracterizar las poblaciones de folículos antrales ováricos, el día del estro sincronizado se realizó una primera evaluación de estructuras ováricas mediante ultrasonografía transrectal (equipo Aloka 500 con transductor rectal de 5 Mhz/64 mm UST-657-5), repitiéndose dicha evaluación los días 2, 4 y 6 post-estro. Las imágenes ultrasonográficas fueron impresas en papel (videoimpresora Sony, UP-870MD) y analizadas para determinar el número total de folículos antrales (FT) número de folículos < 4 mm (FN), número de folículos \geq 4 mm (FY), diámetro del folículo mayor (\varnothing FY) y diámetro del segundo folículo en tamaño (\varnothing 2FY).

La tasa ovulatoria se evaluó posteriormente por medio de laparoscopia ventral media el día 9 post-estro, a partir de la determinación del número total de cuerpos lúteos considerando ambos ovarios.

Con el fin de determinar los cambios en las concentraciones séricas de insulina y glucosa ocasionados por los tratamientos experimentales, en una sub-muestra de 4 animales por grupo de tratamiento se obtuvieron muestras sanguíneas (5 ml) en condiciones de ayuno a las 0:00, 06:00, 07:00, 08:00, 8:15, 8:30, 8:45, 9:00, 9:15, 9:30, 9:45, 10:00, 11:00 y 12:00 horas posteriores al consumo de los suplementos de trigo, esta frecuencia de muestreo se estableció considerando resultados de trabajos previos en ovinos, en los que se observó que el ingreso de almidón al duodeno se concentra entre las 8 a 10 h después de la ingestión de trigo protegido con formaldehído y jabones de calcio; las muestras sanguíneas fueron obtenidas por punción yugular utilizando tubos vacutainer con gel separador activador de la coagulación y mantenidas en refrigeración (4 °C) hasta ser centrifugadas (2500 g x10 min) en un plazo no mayor de 2 h post-colección para separar el paquete

celular del suero. Este último se mantuvo en congelación (-20 °C) hasta ser analizado en el laboratorio para determinar por radioinmunoanálisis las concentraciones de insulina (Coat-A-Count®, Insulin, Diagnostic Products Corporation) y por métodos colorimétricos las de glucosa (Sera-Pak Glucosa 6634, Bayer).

A partir de las concentraciones séricas de glucosa e insulina se estimaron las concentraciones mínimas (GMN e IMN), máxima (GMX e IMX) y media (GMD e IMD) de dichos compuestos durante el periodo de muestreo, así como la diferencia entre sus concentraciones máximas y mínimas (GDF e IDF), así mismo, se estimaron las concentraciones promedio de glucosa e insulina para los periodos de 0-8, 8-10 y 10-12 h posteriores al consumo de los tratamientos experimentales; los valores anteriores fueron utilizados como variables de respuesta para los análisis estadísticos. El análisis estadístico de los resultados se hizo mediante la Prueba Exacta de Fisher para las variables discretas y ANDEVA para diseños completamente al azar o de observaciones repetidas según el caso en las variables continuas.

VI. RESULTADOS

Al comparar los tratamientos experimentales, tanto la concentraciones sérica de glucosa media (GMD), glucosa mínima (GMN), glucosa máxima (GMX) así como la diferencia entre la mínima y la máxima (GDF) no mostraron diferencia ($P > .05$) entre tratamientos (Cuadro 1). Las concentraciones séricas de insulina media (IMD), insulina mínima (IMN), insulina máxima (IMX) y la diferencia entre mínima y máxima (IDF), tampoco fueron diferentes ($P > .05$) entre tratamientos (Cuadro 2).

Al analizar las concentraciones séricas promedio de glucosa entre 0-8, 8-10 y 10-12 h posteriores al consumo de los suplementos de trigo no se encontraron diferencias ($P > .05$) entre tratamientos (Cuadro 3). En el caso de las concentraciones promedio de insulina sérica durante los mismos periodos si se observaron diferencias ($P < .05$) entre tratamientos aunque solo durante las 0 a 8 post-consumo de suplementos, con concentraciones mayores de insulina en el grupo TT comparado con el TST (6.6 y 4.8 $\mu\text{UI/ml}$ en TT vs TST; Cuadro 4).

Con respecto a los resultados en la tasa de ovulación representada como el porcentaje de animales con evidencia de una o más ovulaciones asociadas con el estro posterior a 11 días en tratamiento (NCL al día 9 pos-estro), esta no se vio modificada ($P > .05$) por efecto del tratamiento experimental (87.4 y 12.6% cabras con una y dos ovulaciones independientemente del tratamiento; Cuadro 5).

En cuanto a las características de las poblaciones foliculares el día del estro. (estro sincronizado después de 11 días en tratamiento) o 2, 4 y 6 días posteriores a este (Cuadros 6, 7, 8, 9), no se observaron efectos ($P > .05$) de tratamiento para el número de folículos totales (FT) y folículos mayores ≥ 4 mm (FY).

Sin embargo si se observó un mayor ($P < .05$) número de folículos $< 4\text{mm}$ (FN) en el grupo TT el día del estro 7.52 y 7.08 folículos para TT y TST respectivamente; Cuadro 6) y una tendencia en el mismo grupo TT a presentar un mayor diámetro del folículo mayor (\emptyset FY) en los días 4 ($P = .09$) y 6 ($P = .06$) post-estro así como un mayor diámetro ($P = .06$) del segundo folículo en tamaño ($\emptyset 2\text{FY}$) en el día 6 posterior al estro Cuadros 8 y 9).

Cuadro 1. Medias de cuadrados mínimos de variables indicadoras de cambios posprandiales en las concentraciones séricas de glucosa (mM/l) en cabras consumiendo trigo cristalino protegido de la degradación ruminal (TT, $n=4$) y sin proteger (TST, $n=4$).

	TT	TST	e.e	P
GMD	3.44	3.58	0.14	0.49
GMN	1.75	2.62	0.66	0.33
GMX	4.02	4.52	0.25	0.21
GDIF	2.27	1.90	0.67	0.68

GMD= Concentración promedio de glucosa durante el periodo de muestreo

GMN= Concentración mínimas de glucosa durante el periodo de muestreo

GMX= Concentración máximas de glucosa durante todo el periodo de muestreo

GDIF= Diferencia entre (GMN-GMX)

Cuadro2. Medias de cuadrados mínimos de variables indicadoras de cambios posprandiales en las concentraciones séricas de insulina ($\mu\text{UI/ml}$) en cabras consumiendo trigo cristalino protegido de la degradación ruminal (TT, $n=4$) y trigo sin proteger (TST, $n=4$).

	TT	TST	e.e	P
IMD	4.83	5.28	1.18	0.30
IMN	0.46	0.83	0.20	0.71
IMX	15.75	17.22	2.71	0.25
IDF	15.29	16.39	2.61	0.78

IMD= Promedio de insulina durante el periodo de muestreo

IMN= Concentraciones mínimas de insulina durante el periodo de muestreo

IMX= Concentraciones máximas de insulina durante todo el periodo de muestreo

IDF= Diferencia entre (IMN-IMX)

Cuadro3. Medias de cuadrados mínimos ($\pm e.e$) de los promedios de la concentración séricas de glucosa (mM/l) en cabras a diferentes periodos posteriores al consumo de trigo cristalino protegido de la degradación ruminal (TT, $n=4$) y trigo sin proteger (TST, $n=4$).

PÉRIODO	TT	TST
0-8h	3.44 \pm 0.14	3.41 \pm 0.08
8-10h	3.42 \pm 0.19	3.55 \pm 0.09
10-12h	3.60 \pm 0.35	3.90 \pm 0.12

Tratamiento, $P>.05$

Cuadro 4. Medias de cuadrados mínimos (\pm e.e) de los promedios de la concentración sérica de insulina (μ UI/ml) en cabras a diferentes periodos posteriores al consumo de trigo cristalino protegido de la degradación ruminal (TT, n=4) y trigo sin proteger (TST, n=4).

PERIODO	TT	TST
0-8h	6.61 \pm 0.12 ^b	4.82 \pm 0.74 ^a
8-10h	4.58 \pm 0.60 ^a	5.81 \pm 1.89 ^a
10-12h	3.84 \pm 0.66 ^a	4.77 \pm 2.38 ^a

a,b Literales diferentes en la misma fila indican diferencia P <.05

Cuadro 5. Porcentaje de cabras con una o dos ovulaciones posterior al consumo de trigo protegido de la degradación ruminal (TT, n=20) y trigo sin proteger (TST, n=20).

TRATAMIENTO	# DE OVULACIONES	
	1	2
TT	88.2(15/17)	11.8 (2/17)
TST	86.7(13/15)	13.3(2/15)

(#de cabras/ total)

tratamiento (P>.05)

Cuadro 6. Medias de cuadrados mínimos del número de folículos totales (FT), iguales o mayores de 4mm (FY) y menores de 4mm (FN) y de los diámetro del folículo mayor (\varnothing FY) y del segundo mayor en tamaño (\varnothing 2FY) en el día del estro sincronizado posterior al consumo de trigo cristalino protegido de la degradación ruminal (TT, n=20) y trigo sin proteger (TST, n=20).

VAR	TT	TST	e.e.	P
FT	9.62	9.31	0.20	0.30
FY	2.14	2.23	0.13	0.64
FN	7.52	7.08	0.15	0.05
\varnothing FY	4.57	4.51	0.07	0.59
\varnothing 2FY	4.13	4.14	0.07	0.87

Cuadro 7. Medias de cuadrados mínimos del número de folículos totales (FT) mayores (FY) y menores (FN) y de los diámetros del folículo mayor (\varnothing FY) y diámetro del segundo folículo mayor (\varnothing 2FY) en el día 2 post-estro posterior al consumo de trigo cristalino protegido de la degradación ruminal (TT, n=20) y trigo sin proteger (TST, n=20).

VAR	TT	TST	e.e.	P
FT	6.8	6.61	0.19	0.49
FY	0.19	0.23	0.1	0.78
FN	6.6	6.38	0.19	0.40
\varnothing FY	3.38	3.30	0.10	0.60
\varnothing 2FY	2.96	2.91	0.05	0.57

Cuadro 8. Medias de cuadrados mínimos del número de folículos totales (FT) mayores (FY) y menores (FN) y de los diámetro del folículo mayor (\varnothing FY) y diámetro del segundo folículo mayor (\varnothing 2FY) en el día 4 post-estro posterior al consumo trigo cristalino protegido de la degradación ruminal (TT, n=20) y trigo sin proteger (TST, n=20).

VAR	TT	TST	e.e.	P
FT	6.10	5.75	0.17	0.17
FY	0.30	0.08	0.1	0.16
FN	5.8	5.6	0.16	0.56
\varnothing FY	3.5	3.20	0.11	0.09
\varnothing 2FY	2.94	2.92	0.07	0.83

Cuadro 9. Medias de cuadrados mínimos del número de folículos totales (FT) mayores (FY) y menores (FN) y de los diámetro del folículo mayor (\varnothing FY) y diámetro del segundo folículo mayor (\varnothing 2FY) en el día 6 post-estro posterior al consumo trigo cristalino protegido de la degradación ruminal (TT, n=20) y trigo sin proteger (TST, n=20).

VAR	TT	TST	e.e.	P
FT	5.70	5.92	0.17	0.37
FY	0	0	0.1	0
FN	5.70	5.92	0.16	0.37
\varnothing FY	3.21	3.02	0.11	0.06
\varnothing 2FY	2.88	2.74	0.07	0.06

VII. DISCUSIÓN

De acuerdo a resultados de estudios preliminares en ovinos (Ramírez *et al.* y datos no publicados), para el presente trabajo se estimó que el tratamiento con formaldehído y grasa saponificada reduciría alrededor de 35% la degradación ruminal del trigo cristalino.

La consecuencia de lo anterior, sería incrementar el ingreso de almidón a intestino delgado para que a partir de su digestión enzimática se aumenta la cantidad de glucosa disponible para ser absorbida hacia el torrente circulatorio. Sin embargo como se puede observar en el cuadro 1, no se encontraron incrementos en las concentraciones periféricas de glucosa en el periodo comprendido entre 0 y 12 h. post-consumo del trigo protegido. En contraste, Oke *et al.* (1991) observaron que al incluir grano de maíz tratado con formaldehído en la dieta de borregos (50 -75% de la materia seca) se reducía en un 38% la digestión ruminal de almidón y aumentaba la concentración de glucosa sanguínea en un 21%. Por su parte Walker *et al.* (1995) observaron que después de la infusión abomasal de almidón hidrolizado a abomaso en novillos Holstein se incrementaba la concentración de glucosa en la circulación portal. Así mismo, en otro experimento realizado con borregas lecheras alimentadas con dietas altas en grano se obtuvieron aumentos en la concentración de glucosa sanguínea presumiblemente como reflejo en parte del incremento en ingreso de almidón a duodeno (Susin *et al.*, 1995).

Sin embargo y en concordancia con lo observado en el presente trabajo, en algunas investigaciones en bovinos, la infusión abomasal de almidón no ha provocado incrementos en la concentración sanguínea de glucosa a nivel periférico (Huntington y Reynolds, 1986).

De acuerdo a lo sugerido por Kreikemeir *et al.* (1991), esto podría estar relacionado con las capacidades efectivas de digestión de almidón y absorción de glucosa a nivel intestinal en rumiantes, las cuales parecen estar rebasadas cuando el influjo de almidón al intestino delgado es relativamente elevado. Independientemente de lo anterior, es importante considerar que cuando se suministran granos tratados para disminuir la degradación ruminal, el efecto de la masticación puede afectar la capacidad protectora de los tratamientos como se ha observado en el caso de los granos tratados con formaldehído (McAllister *et al.*, 1992). Por otra parte y en relación con el uso de grasas saponificadas como parte del tratamiento para proteger los granos de degradación ruminal, se ha demostrado en vacas Holstein que la suplementación con jabones de calcio puede ocasionar una reducción en la concentración de glucosa en sangre (Erickson *et al.*, 1992) En el presente experimento, alguno de estos factores podría haber ocasionado que no se incrementarán las concentraciones séricas de glucosa posterior al consumo del trigo protegido, aunque por otro lado, no podemos descartar por completo el que si haya ocurrido un ligero aumento en el ingreso de glucosa a la circulación portal y que este haya podido influir en la secreción endógena de insulina.

En cuanto a la concentración séricas de insulina, aunque no fue muy evidente el efecto de la suplementación con trigo protegido de la degradación ruminal, si se detecto un ligero aumento en la concentración de esta hormona durante el periodo de 0- 8 horas posteriores al consumo del trigo tratado (cuadros 2 y 4).

En forma similar, Walker *et al.* (1995). no encontraron cambios importantes en las concentraciones de insulina en plasma portal después de realizar infusiones de

almidón hidrolizado vía abomasal en novillos Holstein. Coincidiendo con lo anterior, en un experimento usando machos cabrios adultos suplementados con dietas altas en energía a base de almidón de maíz, se observó que las concentraciones de insulina no se vieron afectadas con la dieta (Fujita *et al.*, 2000). Por el contrario en un estudio con borregas en lactación, Susin *et al.* (1995) Observaron que dietas altas en granos provocaba incrementos en la concentración sérica de insulina. En otro estudio realizado por Downing *et al.* (1995c), se determinó que la administración por infusión intravenosa de glucosa a borregas durante la fase lutea tardía ocasionaba un aumento en las concentraciones circulantes de insulina. Por su parte Armstrong *et al.* (2002), indican que al aumentar el consumo en vacas al doble de lo estimado para mantenimiento se elevan las concentraciones séricas de insulina y Gutiérrez *et al.* (1997) encontraron que las concentraciones séricas de insulina se modifican por un aumento en el consumo de energía dietética por periodos cortos.

A su vez se ha demostrado que el aumento en las concentraciones plasmáticas de insulina inducidos por modificaciones en la dieta, puede favorecer la secreción de gonadotropinas (Miller *et al.*, 1995) e influir en el proceso de desarrollo folicular (Gutiérrez *et al.*, 1997; Chavéz *et al.*, 1998; Armstrong *et al.*, 2002). Por otra parte, la infusión de aceite de colza a duodeno en vacas en lactación temprana y media no produce una elevación en las concentraciones circulantes de insulina (Gagliostro *et al.*, 1991). Y también se ha observado que la suplementación con jabones de calcio de ácidos grasos en borregas pelibuey no induce un aumento en las concentraciones séricas de esta hormona (Espinoza *et al.*, 1997). En relación a ello, se podría especular que la adición de grasa saponificada como parte del

tratamiento para disminuir la degradación ruminal del trigo, hubiera aminorado el efecto de aumentar el ingreso de almidón a duodeno sobre la secreción endógena de insulina, aspecto que sería interesante investigar.

En el presente trabajo la tasa de ovulación no se vio modificada con el consumo de trigo protegido con formaldehído y grasa saponificada (Cuadro 5), a pesar del ligero aumento en la concentración sérica de insulina que se observó en el tratamiento correspondiente. En relación a ello Downing *et al.* (1995c) encontraron que al administrar glucosa vía intravenosa en ovejas por 5 días durante la fase lútea del ciclo estral se aumentaba la tasa ovulatoria. En otro estudio realizado por Downing *et al.* (1995a), se encontró que la administración por infusión de aminoácidos de cadena ramificada (leucina, isoleucina, valina) en ovejas durante 5 días antes de la luteólisis aumentaba significativamente la tasa ovulatoria.

En los dos casos anteriores, se considero que el aumento en el número de ovulaciones estaba relacionado con el efecto estimulador de los tratamientos sobre la secreción endógena de insulina.

Por otra parte, Landau *et al.* (1995) no encontraron una relación positiva entre las concentraciones circulantes de insulina y la tasa ovulatoria en borregas consumiendo dietas con diferentes cantidades de almidón no degradable en rumen, aunque si observaron un efecto positivo de incrementar almidón no degradable en rumen sobre la tasa ovulatoria en animales que genéticamente presentaban un alto potencial ovulatorio.

En este sentido, se ha observado que la capacidad ovulatoria en cabras criollas de composición genética similar a la de las incluidas en el presente experimento, no parece ser muy alta aún en condiciones de buena alimentación (tasa ovulatoria de

1.29 en animales consumiendo 115% de requerimientos teóricos de energía y proteína; Espinosa *et al.*, datos no publicados). De acuerdo a ello, es posible que la ausencia de efecto sobre la tasa ovulatoria del tratamiento con trigo protegido, estuviera relacionada con el limitado potencial ovulatorio de los animales experimentales, aunque también podría ser que los cambios inducidos por el consumo de trigo protegido no fueran suficientes para influir sobre esta variable. En relación a esto último, Kirkwood *et al.* (1991) no encontraron cambios en la prolificidad de ovejas inyectadas con insulina por periodos cortos antes de una ovulación inducida y sugieren que el grado de hiperinsulinemia provocada en su experimento pudiera no haber sido el adecuado para resultar en estimulación ovárica.

Así mismo Williams *et al.* (2001) no encontraron efectos sobre la tasa ovulatoria o concentración de transportadores de glucosa (GLUT1, GLUT4) en el ovario después de suplementar borregas con grano de lupina por periodos cortos (5 día previos a la luteolisis inducida). A diferencia de lo encontrado en la tasa ovulatoria, el proceso de desarrollo folicular aparentemente fue influenciado por el consumo de trigo protegido con formaldehído y grasa saponificada, observándose un mayor número de folículos <4mm el día del estro (Cuadro 6) y un mayor diámetro de los folículos más grandes en tamaño el día 6 post-estro (Cuadro 9). En forma similar Gutiérrez *et al.* (1997) encontraron cambios en el número de folículos pequeños durante los 3 primeros días del ciclo estral en vaquillas al incrementar el consumo de alimento.

Coincidiendo con lo anterior, Armstrong *et al.* (2002) modificaron el número de folículos pequeños al duplicar al dieta de mantenimiento en vacas. Así mismo,

Grimard *et al.* (1995) observaron cambios significativos en el crecimiento de folículos grandes en vacas de carne amamantando, que recibieron el 100% de sus requerimientos de energía comparadas con vacas que recibieron sólo el 70%. Por otra parte; Simpson *et al.* (1994) no observaron cambios en el número de folículos pequeños, medianos y grandes en vacas Angus y Brahman tratadas con insulina, aunque si encontraron cambios en el diámetro de los folículos de mayor tamaño. En general, diversas investigaciones han demostrado que el favorecer el estado energético en los rumiantes, repercute en forma positiva en el desarrollo folicular en forma similar a lo observado en el presente experimento. Como posibles mediadores de dichos efecto, se han propuesto diversos metabolitos (glucosa, aminoácidos) y hormonas metabólicas (insulina, IGF-1, hormona del crecimiento), que directa o indirectamente pudieran influenciar la función ovárica (Robinson *et al.*, 2002). En el caso de la suplementación por periodos cortos con fuentes de almidón protegidas de la degradación ruminal, el efecto sobre el desarrollo folicular podría estar mediado a su vez por diferentes factores, involucrando posiblemente al aumento en el ingreso de glucosa a partir de intestino delgado y su repercusión sobre la secreción endógena de insulina. En relación al papel que juega insulina sobre el proceso de desarrollo folicular, de acuerdo a diversas evidencias se ha propuesto que dicha hormona representa el eje de un sistema de regulación de la función ovárica, que potencialmente actúa a diferentes niveles del eje hipotálamo-hipófisis-ovario (Poretsky *et al.*, 1999).

VIII. CONCLUSIÓN

El consumo por periodos cortos de trigo protegido de la degradación ruminal, puede ser capaz de influenciar el proceso de desarrollo folicular, aunque sin alterar la tasa de ovulación en cabras criollas, consideradas como de bajo potencial ovulatorio. Dicho efecto podría estar relacionado con un ligero incremento temporal en la secreción de insulina asociado al consumo de trigo protegido, el cual por otra parte no modificó las concentraciones de glucosa sanguínea a nivel periférico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IX. LITERATURA CITADA

1. Aguirre M.S. Efecto del tratamiento de sorgo y maíz con formaldehído sobre la digestibilidad del almidón en el rumen (tesis licenciatura FMVZ) México D.F. Universidad Nacional Autónoma de México. 1994.
2. Agraz G.A.A. Caprinotecnia I: 2ª. ed. Limusa. S.A. México. pp. 1984. 528-542
3. Allrich R.D. Estrous behavior and detection in cattle. Vet Clinic North Americ. 1993 (9):249-262.
4. Armstrong D.G., J.G. Gong J.O. Gardner G. Baxter, C.O. Hogg and R. Webb. Steroidogenesis in bovine granulose cells: effect of short-term changes in dietary intake reproduction. 2002 (123):371-378.
5. Austin C.R and R.V. Short. Procesos de reproducción en los mamíferos. 1ª.ed vol.3. México S.A. 1982. pp.52-63.
6. Church D.C. El rumiante, Fisiología digestiva y nutrición 1ª. ed. España Acribia. 1988. pp.305-339.
7. Downing J.A., J. Joss and R.J. Scaramuzzi. A mixture of the branched chain amino acids leucine, isoleucine and valine increases ovulation rate in ewes when infused during the late luteal phase of the oestrous cycle: an effect that may be mediated by insulin. J. Endocrinol. 1995a (145):315-323.
8. Downing J.A., J. Joss P. Conell and R.J. Scaramuzzi. Ovulation rate and the concentrations of gonadotrophic and metabolic hormones in ewes fed lupin grain. J. Reprod. Fert. 1995b (103):137-145.
9. Downing JA, J. Joss and R.J. Scaramuzzi. Ovulation rate and the concentrations of gonadotrophins and metabolic hormones in ewes infused

- with glucose during the late luteal phase of the oestrous cycle. *J. Endocrinol.* 1995c (146): 403-410.
10. Driancourt M.A. Regulation of ovarian follicular dynamics in farm animals. Implications for manipulation of reproduction. *Theriogenology*. 2001 (55):1211-1239.
 11. Drost M. and W.W. Thatcher. Application of gonadotropin releasing hormone as therapeutic agent in animal reproduction. *Anim. Reprod. Sci.* 1992 (28):11-19.
 12. Erickson P.S., M.R. Murphy and J.H. Clark. Supplementation of dairy cow diets with calcium salts of long-chain fatty acids and nicotinic acid in early lactation. *J. Dairy Sci.* 1992 (75):1078-1089.
 13. Espinoza J.L., J.A. Ramírez-Godínez, S.S. Simental, J. Jiménez, R. Ramírez, A. Palacios and R. De Lun. Effects of calcium soaps of fatty acids on serum hormones and lipid metabolites in pelibuey ewes. *Small Ruminant Research*. 1997 (26): 61-68.
 14. Findlay J.K., D.M. Robertson, A.M. Turzillo and M. Lavoire. Follicle selection in domestic animals. *J. Reprod. Sci.* 1992. (33): 11-25.
 15. Fluharty F.L. and S.C. Loerch. Chemical treatment of ground corn to limit ruminal starch digestion. *Can. J. Anim. Sci.* 1989 (69):173-180.
 16. Fortune J.E. Ovarian follicular growth and development in mammals. *Biol. reprod.* 1994 (50):225-232.
 17. Fujita T., M. Kajita, H. Sano and A. Shiga. Effects of supplemental energy as starch on tissue responsiveness and sensitivity to insulin in goats. *Anim. Sci. J.* 2000 (4): 386-392.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

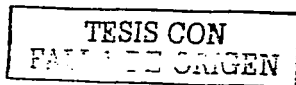
18. Gagliostro G., Y. Chilliard and M.J. Davicco. Duodenal rapeseed oil infusion in early and midlactation cows. 3. plasma hormones and mammary apparent uptake of metabolites. J. Dairy. Sci. 1991 (74): 1893-1903.
19. García A. And G.A. Bo. Uso de la ultrasonografía para el estudio de los eventos reproductivos en el bovino. Memorias del Congreso nacional de buiatría. 1993.
20. Ginther O.J and K. Kot. Follicular dynamics during the ovulatory season in goats. Theriogenology. 1994 (42): 987-1001.
21. Ginther O.J. Selection of the dominant follicle in cattle and Horses. Anim. Reprod. Sci. 2000 (60-61): 61-79.
22. Gore-Langton R.E. and Armstrong D.T. Cap 10. Follicular steroidogenesis and Its Control. In The Physiology of Reproduction. Vol.1. New York . Raven Press, Ltd. 1988. 376-395.
23. Grimard B., P. Humblot, A.A. Ponter, J.P. Mialot, D. Sauvart and M. Thibier. Influence of postpartum energy restriction on energy status, plasma LH and estradiol secretion and follicular development in suckled beef cows. J. Reprod Fert. 1995. (104): 173-179.
24. Gutierrez G.G., J. Oldham, A.T. Bramley, G.J. Gong. B. K. Campbell and R. Webb. The Recruitment of Ovarian Follicles is Enhanced by Increased Dietary Intake in Heifers. J Anim. Sci. 1997. 1876-1884.
25. Hansel W. and E. M. Convey. Physiology of the estrous cycle. JAnim. Sci. 1983. (57) (Suppl2): 404.
26. Harmon D.L. Dietary influences on carbohidrases on small intestinal starch hydrolysis capacity in ruminants. J. Nutr. 1992 (122):203-210.

27. Harmon D.L Nutritional regulation of pos-ruminal digestive enzymes in ruminants. J. Dairy Sci. 1993.(76):2102-2111.
28. Harmon D. L. Avances recientes en nutrición y alimentación de bovinos alimentados con dietas altas en concentrados reunión anual AMENA 1998. 71-95.
29. Harrison L.M., R.S. Randel. Influence of insulin and energy intake on ovulation rate, luteinizing hormone and progesterone in beef heifers. J. Anim. Sci. 1986. (63):1228-1235.
30. Huntington G.B. and L.J. Reynolds. Net absorption of glucose, L-lactate, Volatile fatty acids and nitrogenous compounds by bovine given abomasal infusion of starch or glucose. J. Dairy Sci. 1986(69): 2428-2436.
31. Huntington G.B. Starch utilization by ruminants: from basics to the bunk. J. Anim. Sci. 1997 (75): 852-867.
32. INEGI. Síntesis Geográfica, Nomenclátor y Anexo cartográfico del Estado de Querétaro. México, 1986.
33. Kirwood R.N., P.A. Thacker R.S .Korchinski, A. González and B. Laarveld.. Effect of prematring injection on insulin on fertility and prolificacy of ewes. Cant. J. Anim. Sci. 1991 (71): 241-244.
34. Kreikemeier K.K., D.L. Harmon, R.T. Brandt, T.B. Avery and D.E. Johnson. Small intestinal starch digestion in steers: effect of various levels of abomasal glucose, on small intestinal disappearance and net glucose absorption. J. Anim. Sci. 1991 (69):328-338.

35. Landau S., A. Bor, H. Leibovich, Z. Zoref, Z. Nitsan and Z. Madar. The effect of ruminal starch degradability in the diet of booroola crossbred ewes on induced ovulation rate and prolificacy. *Anim. Reprod. Sci.* 1995 (38):97-108.
36. Lehninger A.L. *Bioquímica. Segunda edición. decimoctava reimpresión.* Omega. S.A. Barcelona. 1995. 270-272.
37. Lucy M.C., J.D. Savio, L. Badinga, R.L De La Sota and W.W. Thatcher. Factors that affect ovarian follicular dynamics in cattle. *J. Anim. Sci.* 1992. (70):3615-3626.
38. McAllister T.A., L.M. Rode and J.G. Buchanan-Smith. Use of formaldehyde to regulate digestion of barley starch. *Can. J. Anim. Sci.* 1990 (70): 581-589.
39. McAllister T.A., L.M. Rode, K.J. Cheng and J.G. Buchanan-Smith. Effect of formaldehyde-treated barley or escape protein on the ruminal environment and digestion in steers. *Can. J. Anim. Sci.* 1992 (72):317-328.
40. Miller D.W., D. Blache, G.B. Martin. The role of intracerebral insulin in the effect of nutrition on gonadotrophin secretion in mature male sheep. *J. Endocrinol.* 1995. (147): 321-329.
41. Niswender G.D., L.J. Jennifer, J.S. Patrick, M. R. Keith and W. M. Eric. Mechanism controlling the function and life span of the corpus luteum. *Physiol. Rev. A. Physiol. Societ.* 2000. (80):1-29
42. Niswender G.D. Molecular control of luteal secretion of progesterone. *Rev. Reproduction.* 2002. (123):333-339.
43. Noel B., J.L Bister and R. Paquay. Ovarian follicular dynamics in Suffolk ewes at different periods of the year. *J. Reprod. Fertil.* 1993 (99):695-7001.

44. NRC. Nutrients requirements of goats. National Academy press Washington, D.C. 1981 10-12.
45. Oke B.O., S.C. Loerch and D.R. Redman. Effect of dietary level and formaldehyde treatment of corn on nutrient digestion and metabolism in sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 1991. (71): 1197-1205.
46. Owens F.N., R.A. Zin and Y.K. Kim. Limits to starch digestion in the ruminants small intestine. *J. Anim. Sci.* 1986 (63): 1634-1648.
47. Palter S.F., A.B. Tavares, A. Hourvitz, J.D. Veldhuis and E.Y. Adashi. Are estrogens of importance to primate/human ovarian folliculogenesis. *Endoc.Rev.* 2001 (22): 389-424.
48. Pérez Alba L.M., S. De Souza Calvalcanti, M. Pérez Hernández, A. Martínez Marin and G. Fernández Marin. Calcium soap of olive fatty acids in the diet of manchega dairy ewes: effects on digestibility and production. *J.Dairy Sci.* 1997 (809): 3316-3324.
49. Poretzky L. N.A. Cataldo, Z. Rosenwaks. The insulin-related ovarian regulatory system health and disease. *Endoc. Rev.* 1999 20(4): 535-582.
50. Ramírez S.M., S.L. Zapata, A.A. Martínez, J. López, P.E. González, M.G. Mendoza, A.D. Peña y M.X. Pastrana. Degradabilidad ruminal in vitro de trigos harinoso y cristalino tratados con grasa blindada y formaldehído. XXXIV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Merida. Yucatán. 1999.
51. Robinson R.S., P.G.A. Pushpakumara, Z. Cheng, A.R. Peters, D.R.E. Abayasekara and D.C. Wathes. Effects of dietary polyunsaturated fatty acids on ovarian and uterine function in lactating dairy cows. *Reproduction.* 2002. (124):119-131.

52. SAS. SAS User 's Guide Statistics (version 8). Cary NC, SAS Inst. Inc. 1999.
53. Schillo K.S. Effects of dietary energy on control of luteinizing hormone secretion in cattle and sheep. J. Anim. Sci. 1992. (70):1271-1282.
54. Simpson R.B., C.C. Chase, L.J. Spicer, R.K. Vernon, A.C. Hammond and D.O. Rae. Effect of exogenous insulin on plasma and follicular insulin-like growth factor I, insulin-like growth factor binding protein activity, follicular estradiol and progesterone, and follicular growth in superovulated Angus and Brahman cows. J. Reprod. Fert. 1994 (102): 483-492.
55. Susin I., S.C. Loerch and K.E. McClure. Effects of feeding a high-grain diet at a restricted intake on lactation performance and rebreeding of ewes. J. Anim. Sci. 1995 (73):3199-3205.
56. Thibault C., M.C. Levasseur, R.H.F. Hunter. Reproduction in mammals and man. Ellipses. Francia. 1993. pp.143-160
57. Torres A.R. Utilización de ácidos grasos saponificados en la alimentación de borregas en el último tercio de gestación. (tesis Licenciatura FMVZ) México D.F. Universidad Autónoma de México. 1992.
58. Venter JL and Greyling JP. Effect of different periods of flushing and synchronized mating and body weight, blood glucose and reproductive performance in spring mated ewes. Small ruminant Research. 1994 (13):257-261.
59. Walker J.A. and D.L. Harmon. Influence of ruminal or abomasal starch hydrolysate infusion on pancreatic exocrine secretion and blood glucose and insulin concentrations in steers. J. Anim. Sci. 1995. (73):3766-3774.



60. Webb R., R.G. Gosden, E.E. Telfer and R.M. Moor. Factors affecting folliculogénesis in ruminants. Brit Societ. Anim. Sci. 1999. (68): 257-284.
61. Williams S. A., D. Blache, G.B. Martin, R. Foot, M.A. Blackberry and R.J. Scaramuzzi. Effect of nutritional supplementation on quantities of glucose transporters 1 and 4 in sheep granulosa and theca cells. Reproduction. 2001 (122): 947-956.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN