



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

GANADERÍA

ACCIÓN DE DOS FUENTES DE COLINA SOBRE VARIABLES REPRODUCTIVAS EN OVEJAS PRIMALAS

ISRAEL MARTÍNEZ CRUZ

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Israel Martínez Cruz, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor María Teresa Sánchez-Torres Esqueda, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis ACCIÓN DE DOS FUENTES DE COLINA SOBRE VARIABLES REPRODUCTIVAS EN OVEJAS PRIMALAS y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 22 de Junio de 2018



Firma del
Alumno (a)




María Teresa Sánchez Torres Esqueda
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis, titulada: **ACCIÓN DE DOS FUENTES DE COLINA SOBRE VARIABLES REPRODUCTIVAS EN OVEJAS PRIMALAS**. Realizada por el alumno: **Israel Martínez Cruz**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
GANADERÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA



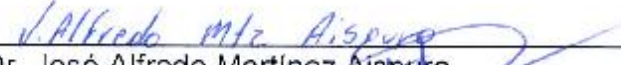
Dra. María Teresa Sánchez - Torres Esqueda

ASESOR




Dr. José Luis Figueroa Velasco

ASESOR



Dr. José Alfredo Martínez Aispuro

ASESOR



Dr. Rafael Nieto Aquino

Montecillo, Texcoco, Estado de México, julio de 2018

ACCIÓN DE DOS FUENTES DE COLINA SOBRE VARIABLES REPRODUCTIVAS EN OVEJAS PRIMALAS

Israel Martínez Cruz, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

La colina es una vitamina que tiene múltiples funciones en la producción, reproducción y la salud animal. El objetivo de este estudio fue evaluar la adición de colina herbal y colina protegida en la dieta de ovejas primaras en la respuesta productiva, reproductiva y hormonal. En el estudio se utilizaron 92 hembras primaras de 15 meses de edad, híbridas (Dorset x Kathadin), con un peso vivo inicial de 50 ± 1.25 kg y una condición corporal de 3 en una escala de 1 a 5; las ovejas se distribuyeron aleatoriamente en tres tratamientos (T): T1 (testigo), Dieta base sin colina (n=30); T2, Dieta base + 4 g de colina herbal (n=31); T3, Dieta base + 4 g de colina protegida (n=31). El diseño experimental fue completamente al azar. Las variables tipo de parto, presentación de estro, índice de prolificidad y porcentaje de gestación se analizaron con una prueba de X^2 mediante el procedimiento PROC FREQ de SAS y para las variables inicio de estro, grasa dorsal (GD) área del musculo *longissimus dorsi* (AML) y ganancia de peso acumulada (GDPACUM) se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey (>0.05) mediante el procedimiento PROC GLM (SAS, 2002). Para las variables concentración de insulina y de progesterona, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ($P>0.05$) por medio del procedimiento PROC MIXED. No hubo diferencias en ganancia de peso, espesor de grasa dorsal y área de músculo *Longissimus dorsi* por efecto de la adición de colina. No hubo diferencias entre tratamientos para la presentación e inicio de estro, porcentaje de gestación, índice de prolificidad y tipo de parto. Las concentraciones de insulina no presentaron diferencias, mientras que la concentración de progesterona disminuyó al adicionar colina herbal en la dieta. La inclusión de colina herbal y colina protegida durante el estro sincronizado no modificó las principales variables reproductivas en ovejas primaras, pero si modificó las concentraciones de progesterona.

Palabras clave: colina, ovejas primaras, progesterona, producción, reproducción.

ACTION OF TWO SOURCES OF CHOLINE ON REPRODUCTIVE VARIABLES IN PRIMAL EWES

Israel Martínez Cruz, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

Choline is a nutrient similar to a vitamin that has multiple functions in production, reproduction and animal health. The objective of this study was to evaluate the addition of choline (herbal and protected) in the diet of primal ewe in the productive, reproductive and hormonal response. Ninety two primiparous ewes of 15 months of age, hybridized (Hamshire x Dorset x Kathadin) were used, with an initial live weight of 50 ± 1.25 kg and a body condition of 3 on a scale of 1 to 5, the ewe were randomly distributed to three treatments. Treatments (T) were: T1, base diet without choline (n = 30); T2, Base diet + 4 g of herbal choline (n = 31); T3, Base diet + 4 g of protected choline (n = 31). The experimental design was a completely randomized. Data were analyzed with a X^2 test, the comparison of means was through Tukey test. There were no differences in weight gain, dorsal fat thickness and area of *Longissimus dorsi* muscle due to the addition of choline. There were no differences between treatments for onset and beginning of estrus, gestation percentage, prolificacy rate and type of delivery. Insulin levels did not differ and progesterone decreased on the days of sampling by adding both sources of choline in the diet. The inclusion of herbal and protected choline during synchronized estrus did not modify the main reproductive variables in primal ewes.

Keywords: choline, primal ewes, progesterone, production, reproduction.

DEDICATORIA

A mis padres:

Rubén Martínez Bravo y Estela Cruz Alamilla por el apoyo incondicional que siempre me brindaron, por sus desvelos, por el gran esfuerzo que realizaron para que yo pudiera realizar mi sueño profesional, porque sin escatimar esfuerzos impulsaron mi desarrollo personal haciendo de mí una persona de valores, con espíritu de lucha y superación, a ellos les doy las gracias por ayudarme a ser lo que soy ahora.

A mis hermanos:

Por las palabras de aliento que me brindaron en los momentos complicados durante mi periodo estudiantil, a mi hermana Yesenia Martínez Cruz por ser un ejemplo claro de superación y esfuerzo, a mis hermanos Rubén Martínez Cruz y Abimael Martínez Cruz por ser un motivo para dar un ejemplo a seguir.

A mi familia:

Por brindarme su apoyo y cariño en cada una de mis etapas como estudiante, agradeciendo sus palabras y sabios consejos en los momentos difíciles de mi vida, a ellos muchas gracias.

A mis profesores:

Por brindarme gran parte de sus conocimiento, por su paciencia, por su dedicación y preocupación en formar de mi un gran profesionalista, y una gran persona.

A mis amigos:

Por estar conmigo en mis logros y fracasos, por el apoyo que me brindaron durante todo el tiempo que convivimos como estudiantes y motivarme día con día a lograr mis metas.

¡A todos ustedes muchas gracias!

Israel Martínez Cruz

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer al **Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACYT), por el apoyo económico durante estos dos años de estudio y el apoyo al presente trabajo de investigación.

Al **Colegio De Posgraduados** por todas las atenciones prestadas durante el periodo como estudiante, por permitir mi crecimiento académico, personal y científico, por la oportunidad de conocer a grandes y verdaderos amigos.

A la **Dra. María Teresa Sánchez-Torres Esqueda** por el apoyo, por despertar en mí la hermosa labor de la investigación, por la paciencia, confianza, enseñanza y amistad que en todo momento me brindó, de todo corazón un millón de gracias.

Al **M.V.Z José Luis Cordero Mora** por su amistad, la paciencia, la infinidad de conocimientos compartidos, los consejos, el apoyo físico y moral que me brindó para que el presente trabajó se realizara de una manera exitosa.

Al **Dr. Rafael Nieto Aquino** por despertar en mí la hermosa labor de la investigación, por su confianza, consejos y apoyo incondicional durante la realización de este trabajó de investigación y su seguimiento a lo largo de todo mi periodo como estudiante de postgrado.

Al **Dr. Alfredo Martínez Aispuro** por los consejos, amistad, confianza y seguimiento del presente trabajo de investigación y por despertar en mí la hermosa labor de la investigación.

Al **Dr. José Luis Figueroa Velasco** por su amistad brindada, por despertar en mí la hermosa labor de la investigación, por los sabios consejos y por formar parte de mi formación profesional.

Al **Biólogo Mario Cárdenas** por su importante participación en los análisis hormonales realizados en el Laboratorio de Hormonas Proteicas del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición, Salvador Zubirán.

Al **Dr. Marco Antonio Ayala Monter** por su amistad, apoyo incondicional y sabios consejos a lo largo de la presente investigación, y por estar presente durante mi formación como estudiante.

Al **Ing. Alan Jovani Sosa Sánchez** por su apoyo incondicional durante el la realización de la fase de campo de la presente investigación, por su amistad y sabias palabras que motivaron en mí el dar lo mejor y demostrar de lo que somos capaces.

A mis compañeros y grandes amigos: **Uriel Martínez, Monzerrat Rosas, Yolanda Osorio, Hugo Rodríguez, Diego Vázquez, Bernardo Cárdenas, Antonio Vega, Luis Flores, David Hernández Rubio y Fridz Ramírez**, a ellos muchas gracias por su amistad brindada, apoyo físico y moral, y por las experiencias compartidas.

A la empresa **TECHNOFEED** por la donación del producto Biocholile® en cual se utilizó para la presente investigación.

A los **Profesores y Personal administrativo del Programa de Ganadería** muchas gracias por su apoyo incondicional y finalmente se extiende el presente agradecimiento a todos aquellos académicos, amigos y familiares que participaron en la elaboración del presente documento y a todos aquellos que contribuyeron a la formación profesional del autor y a la culminación del presente trabajo de investigación.

¡DE CORAZÓN MUCHAS GRACIAS!

ISRAEL MARTÍNEZ CRUZ

“La ciencia tiene una característica maravillosa, y es que aprende de sus errores”

Ruy Pérez Tamayo.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Panorama mundial de la ovinocultura.....	3
2.2 Ovinocultura en México.....	3
2.3 Características de la colina.....	5
2.3.1 Composición química de la colina.....	6
2.3.2 Funciones de la colina.....	6
2.3.3 Colina y su importancia en el metabolismo.....	7
2.4 Colina en la nutrición de rumiantes.....	7
2.4.1 Colina en vacas lecheras.....	9
2.4.2 Colina en ovinos y caprinos.....	10
2.5 Colina en la reproducción.....	11
2.6 La mejora de la salud después del parto suministrando colina protegida.....	12
2.7 Protocolos de sincronización de estros.....	14
2.7.1 Importancia.....	14
2.7.2 Tipos de protocolos de sincronización de estros.....	14
2.7.3 Protocolos de sincronización natural.....	15
2.7.4 Protocolos de sincronización farmacológicos (hormonas).....	15
2.7.5 Sincronización de estros con progestágenos (P ₄).....	15
2.7.6 Sincronización de estros con agentes luteolíticos (PGF _{2α}).....	17
2.7.7 Sincronización con precursores ovulatorios y luteotrópicos.....	19
2.7.8 Protocolos de combinación de fármacos hormonales en el manejo del ciclo estral de la oveja.....	19
III. OBJETIVOS.....	21
3.1 General.....	21
3.2 Específicos.....	21
IV. HIPÓTESIS.....	21

4.1 Planteamiento del problema	21
V. JUSTIFICACIÓN	22
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	23
6.1 Descripción del lugar de estudio.....	23
6.2 Animales y tratamientos	23
6.3 Ultrasonografía área del músculo <i>longissimus dorsi</i> y espesor de grasa dorsal.....	23
6.4 Sincronización de estros	24
6.5 Detección de estros, retorno al estro y diagnóstico de gestación.....	24
6.6 Muestreo sanguíneo	25
6.7 Análisis hormonales	25
6.8 Variables de respuesta.....	26
6.9 Análisis estadístico	26
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
7.1 Grasa dorsal (GD), área del músculo <i>Longissimus dorsi</i> (AML) y ganancia de peso acumulada (GDPACUM).....	28
7.2 Variables reproductivas	29
7.3 Concentración de progesterona (P ₄) en ovejas primaras	30
7.4 Concentraciones de insulina en suero sanguíneo	31
7.5 Tipos de parto en ovejas primaras suplementadas con colina herbal y CPR	33
7.6 Porcentaje de gestación y prolificidad	34
VIII. CONCLUSIONES.....	34
IX. LITERATURA CITADA	35
X. ANEXOS	48

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Producción de carne ovina por entidad.....	4
Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales.	24
Cuadro 3. Variables productivas en ovejas primaras suplementadas con dos fuentes de colina.....	29
Cuadro 4. Respuesta en variables reproductivas en ovejas primaras suplementadas con diferentes fuentes de colina.....	30
Cuadro 5. Concentración de insulina y progesterona (P ₄) (media ± error estándar), en ovejas alimentadas con dietas suplementadas con colina.	32
Cuadro 6. Tipo de parto (% nacimientos por tratamiento) en ovejas primaras suplementadas con dos fuentes de colina.....	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Participación estatal del rebaño ovino en México	5
Figura 2. Estructura química de la colina y de la fosfatidocolina (Donkin, 2011).	6
Figura 3. Vías metabólicas de la colina y su relación con el ácido fólico y la metionina, como donadores de grupos metilo de las vías de metilación (Donkin, 2011).	8
Figura 4. Protocolo de sincronización de estros en ovejas primaras	25
Figura 5. Concentración de progesterona (media \pm error estándar), en ovejas alimentadas con dieta testigo (T1) o dietas adicionadas con 4 g de colina herbal (T2) o 4 g CPR (T3).....	31

LISTA DE ABREVIATURAS

ACC: Acetil-CoA carboxilasa

AML: Área del músculo *longissimus dorsi*

CC: Condición corporal

CIDR: Dispositivo intravaginal para la regulación del ciclo estral

CPR: Colina Protegida

CL: Cuerpo lúteo

d: Día

ECG: Gonadotrofina Corionica Equina

E₂: Estradiol

FAOSTAT: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, división de estadística

FASN: Ácido graso sintasa

FGA: Acetato de fluorogestona

FSH: Hormona folículo estimulante

FSHp: Hormona folículo estimulante porcina

g: Gramos

GD: Grasa dorsal

GDPACUM: Ganancia de peso acumulada

GH: Hormona de crecimiento

GnRH: Hormona liberadora de gonadotropinas

hCG: gonadotropina coriónica humana

IA: Inseminación artificial

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

IGF-1: Factor de crecimiento insulínico tipo

LH: Hormona luteinizante

LPL: Lipoproteína lipasa

MAP: Acetato de medroxi progesterona

MPR: Metionina protegida

MS: Materia seca

NEFA: Ácidos grasos no esterificados

NRC: National Research Council (consejo nacional de Investigación)

P₄: Progesterona

PGF_{2α}: Prostaglandina F_{2α}

pH: Potencial hidrogeno

PMNL: Leucocitos polimorfonucleares bovinos

SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca

SIAP: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera

TMA: Trimetilamina

TAG: Triglicéridos

UI: Unidades internacionales

I. INTRODUCCIÓN

La explotación de ganado ovino en México se realiza a lo largo de toda la república mexicana, lo que refiere a una idea clara de la importancia de dicha actividad. Todas las entidades del país producen carne de ovino. Hidalgo y el Estado de México son los de mayor importancia, ya que participan con el 27.3% del volumen y 32.2% del valor generados (SAGARPA, 2015). En los sistemas intensivos de producción animal, la colina es un suplemento que no se utiliza frecuentemente en las dietas para mejorar la productividad y salud de los animales. El cloruro de colina de origen sintético se utiliza en dos presentaciones: polvo y líquida. Ambas son de naturaleza corrosiva y de baja biodisponibilidad, pues los microorganismos del tracto gastrointestinal consumen el 66% y la transforman en Tri-metilamina (TMA) (de la Huerga y Popper, 1951; Lessons y Summers, 2001), por lo que sólo una tercera parte puede ser aprovechada por los animales.

La importancia de este nutriente se ha documentado en corderos pre-rumiantes (NRC, 2007) y becerros (NRC, 2000; 2001). Los requerimientos de colina aún no se han establecido para ovejas, pero se sugiere que la producción ovina podría mejorarse al usarla como un suplemento (NRC, 2007); aunque la información de la actividad de la colina en ovinos es escasa y no concluyente. En vacas lecheras, la colina facilita la síntesis de fosfolípidos, la absorción y transporte de lípidos a la glándula mamaria, lo que favorece la síntesis de grasa de la leche (Erdman *et al.*, 1984; Santos y Lima, 2007). La colina presente o que se agrega a los alimentos se degrada en el rumen (Atkins *et al.*, 1988); por lo cual este nutrimento debe protegerse de la degradación para que los rumiantes la aprovechen mejor (Sharma y Erdman, 1989b).

El proporcionar una dieta con colina protegida (CPR) disminuye la degradación de colina en el rumen y mejora la producción de leche en vacas (Sharma y Erdman, 1989a; Erdman y Sharma, 1991; Pinotti *et al.*, 2003) y se incrementa la ganancia de peso de vaquillas (Bindel *et al.*, 2000) y novillos (Bryant *et al.*, 1999). El-Gendy *et al.* (2012) al suplementar colina y metionina protegida en cabras Zaraibi estas aumentaron significativamente su peso corporal en comparación con el grupo testigo sin colina.

En busca de disminuir el uso de productos sintéticos una alternativa viable es el uso de productos de origen vegetal. Estudios en corderos demuestran que la adición de colina de herbal mejoró el peso vivo final cuando se alimentaban con altas raciones de granos (Godinez-Cruz *et al.*, 2015). La adición de biocholine® y metionina protegida en corderos no mostró efectos sobre las variables productivas (crecimiento del cordero, consumo y conversión alimenticia) (Godinez-Cruz *et al.*, 2015).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de colina herbal y colina protegida (CPR) en las variables reproductivas y productivas de ovejas primiparas. Se espera que la suplementación con dos fuentes de colina (herbal y protegida) a un nivel de 4 g diarios en la dieta para ovejas primiparas mejore las variables reproductivas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Panorama mundial de la ovinocultura

En 2014 el rebaño mundial ovinos era de 1,2 mil millones (FAO, 2014), ya que los ovinos están distribuidos por todos los continentes del planeta. Al analizar la evolución de la ovinocultura mundial en un periodo reciente, aunque muy distante del valor que tiene la producción de carne bovina, porcina y de ave, la carne obtenida de ovino ocupa el cuarto lugar dentro del consumo de proteína obtenida de origen animal, trayendo consigo un 5% del consumo mundial de alimentos de origen animal (excluyendo el pescado).

Según la FAO, el hato ovino a nivel mundial es de aproximadamente 1.080 millones de cabezas, la producción anual de carne obtenida de ovino es de alrededor de 8.5 millones de toneladas con destino al comercio mundial de 871 mil toneladas, apenas un insignificante 9% de la producción total (FAOSTAT, 2008).

2.2 Ovinocultura en México

El crecimiento desmedido de la población ha incrementado la demanda alimenticia en el planeta, lo que ha obligado al ser humano a plantear nuevas estrategias para incrementar la producción de alimentos a nivel mundial. En la última década el inventario ovino en México ha tenido un incremento notable pasando de 6, 819,771 ovinos en 2003 a 8, 405,902 en el 2012. El estado de México es el principal productor con 1, 326,982, seguido por Hidalgo con 1, 162,556, Veracruz con 664,258 y Oaxaca con 527,369 ovinos (SIAP, 2014), esto se ha debido en parte a las importaciones de borregos para reproducción y abasto, por ejemplo, del año 1997 al 2008 entraron al país cerca de 700 mil animales (Arteaga, 2008). Es importante destacar que en México la producción no logra abastecer a la demanda nacional por lo que en el 2008 se importaron alrededor de 35,000 toneladas a precios más bajos que los del mercado nacional (Martínez *et al.*, 2010). Entre los años 2009 y 2014 el crecimiento promedio anual de cada uno de estos productos fue de 1.6% en el caso de la carne y 0.7% en el de la lana. Todas las entidades del país producen carne de ovino, sin embargo, Hidalgo y el Estado de México son los de mayor importancia, ya que participan con el 27.3% del volumen y 32.2% del valor generados.

Cuadro 1. Producción de carne ovina por entidad

Población ganadera Ovina 2011 - 2016 Cabezas						
Estado/Delegación	2011	2012	2013	2014	2015	2016 ^P
Aguascalientes	54,961	50,562	54,125	55,071	54,213	56,426
Baja California	34,998	33,604	32,584	33,221	33,541	32,717
Baja California Sur	18,446	20,764	22,367	24,802	25,524	27,004
Campeche	157,255	157,724	158,899	159,835	176,250	178,005
Coahuila	117,781	116,298	110,678	110,586	110,875	110,699
Colima	19,848	20,181	21,118	21,256	21,405	21,442
Chiapas	295,642	289,869	301,627	301,821	322,087	323,030
Chihuahua	216,227	210,139	185,186	190,154	185,902	185,741
Distrito Federal	24,318	23,807	24,578	31,081	31,959	30,755
Durango	85,327	83,582	72,755	74,990	75,311	75,461
Guanajuato	303,516	333,029	401,451	401,651	402,555	401,869
Guerrero	86,432	125,940	126,423	138,423	140,663	141,011
Hidalgo	1,099,773	1,162,556	1,162,358	1,185,294	1,206,673	1,226,435
Jalisco	358,895	357,433	357,012	358,522	360,940	369,856
México	1,307,371	1,326,982	1,385,487	1,398,954	1,410,238	1,429,818
Michoacán	251,235	252,748	245,847	253,652	254,663	248,726
Morelos	46,196	46,658	57,097	54,917	55,897	56,779
Nayarit	41,497	39,998	38,426	38,426	38,572	37,964
Nuevo León	80,170	92,410	102,050	100,813	145,461	147,941
Oaxaca	500,169	527,369	518,421	519,003	521,458	522,314
Puebla	452,544	486,786	499,619	500,819	503,384	504,523
Querétaro	160,879	167,923	161,754	159,778	158,185	154,576
Quintana Roo	52,928	59,448	57,256	56,758	57,614	57,185
San Luis Potosí	404,262	388,006	362,862	364,372	365,488	373,585
Sinaloa	222,999	222,865	198,339	197,842	196,698	196,505
Sonora	81,667	81,234	82,458	81,636	74,494	74,051
Tabasco	74,569	75,175	77,397	77,602	79,194	80,110
Tamaulipas	249,105	245,788	249,737	255,169	253,152	251,692
Tlaxcala	235,517	216,262	228,531	228,099	236,968	240,625
Veracruz	665,145	664,258	665,845	664,532	666,805	670,954
Yucatán	151,621	153,507	136,680	136,502	137,805	139,500
Zacatecas	368,093	372,997	398,380	400,327	406,807	425,364
Total nacional	8,219,386	8,405,902	8,497,347	8,575,908	8,710,781	8,792,663

^{P/} Cifras preliminares. Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017) Nota: Las cifras de los años 2007, 2008 y 2009 para el inventario de ovinos en Hidalgo, México, Sinaloa, Tamaulipas y Veracruz difieren de los publicados con anterioridad derivado de una revisión a la serie.

POBLACIÓN GANADERA OVINA 2011 - 2016

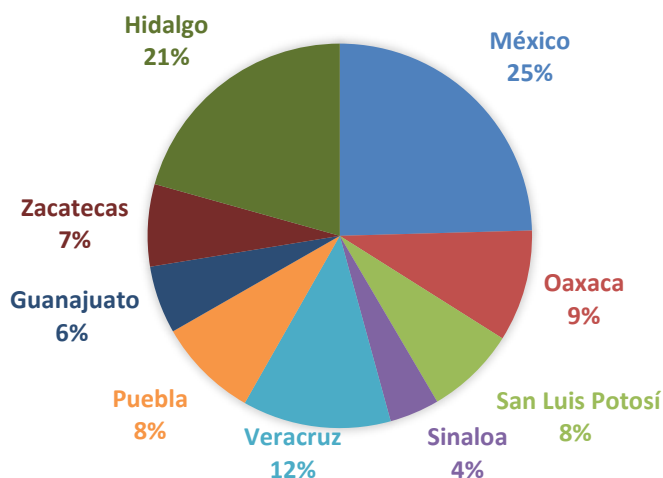


Figura 1. Participación estatal del rebaño ovino en México

Fuente: Datos tomados de SIAP (2017).

2.3 Características de la colina

La estabilidad de las Vitaminas A, E y K3 en premezclas durante el almacenamiento en condiciones controladas se estudió durante un período de un año. Se realizó un análisis del contenido de vitaminas a los 3, 6 y 12 meses (Tavčar-Kalcher y Vengušt, 2007). Se evaluó el efecto del cloruro de colina sobre la estabilidad de las vitaminas. Tavčar-Kalcher y Vengušt. (2007) observaron que las vitaminas eran más estables en una premezcla que no contenía cloruro de colina que en una premezcla que contenía cloruro de colina. Durante el almacenamiento durante 12 meses, las concentraciones de Vitaminas A, E y K3 en la muestra sin cloruro de colina disminuyeron al 53%, 59% y 80% de sus valores iniciales, respectivamente; sin embargo, en la muestra que contiene cloruro de colina, las concentraciones de estas vitaminas disminuyeron al 39%, 50% y 9% de sus valores iniciales, respectivamente.

La colina es una base de amonio cuaternaria, derivada de la etanolamina por metilación de adenosilmetionina, también conocida como etanolamina, componente esencial de las dietas en mamíferos debido a que se requiere para un funcionamiento normal de las células, la cual, mediante su síntesis, produce materiales biológicos esenciales como la acetilcolina y varios fosfolípidos (Kuksis y Mookerjea, 1978). La colina

fue clasificada en un grupo vitamínico del complejo-B pero no satisface la función de una vitamina estándar (McDowell, 1989), la cual debe ser sintetizada endógenamente y que sea un cofactor de alguna enzima, a diferencia de otras vitaminas hidrosolubles.

2.3.1 Composición química de la colina

La colina [(CH₃)₃N + CH₂CH₂OH], también conocida como etanolamina de trimetilo, es un componente esencial en la dieta de mamíferos, ya que se requiere para el funcionamiento normal de las células. Esto fue descubierto por Andreas Strecker en 1862, pero se reconoció como nutriente esencial para los seres humanos hasta 1998, cuando se establecieron ingestas dietéticas de referencia. La colina se determinó inicialmente esencial en la prevención del hígado graso en ratas y perros (Best y Huntsman, 1932).

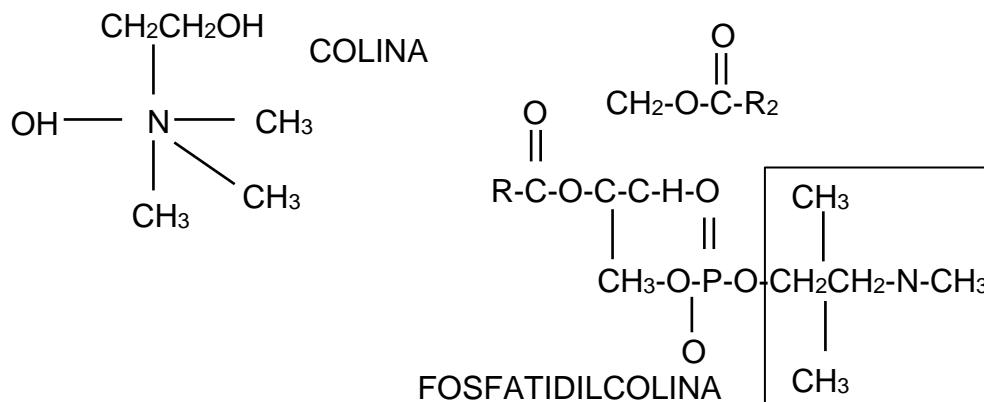


Figura 2. Estructura química de la colina y de la fosfatidilcolina (Donkin, 2011).

2. 3.2 Funciones de la colina

La colina tiene tres funciones metabólicas principales como: (1) componente de la fosfatidilcolina, la cual tiene funciones estructurales en las membranas biológicas, y en la utilización de los lípidos de los tejidos; (2) precursor del neurotransmisor acetilcolina; y (3) precursor de la betaína, la cual sirve como precursor de grupos metilos lábiles para las reacciones de metilación, como en los casos de la formación de metionina a partir de homocisteína y creatina a partir de ácido guanidoacético (NRC, 2007). La colina es una vitamina que funciona de varias maneras, principalmente como un fosfolípido, teniendo un papel importante en la integridad de la membrana celular y participando en la digestión

y transporte de lípidos (Bindel *et al.*, 2000). La colina, entre otras funciones fisiológicas, evita la acumulación de grasas en el hígado estimulando la eliminación de los triglicéridos mediante su transformación en lecitinas. También participa en procesos de transmetilación en interrelación con el ácido fólico y la vitamina B12 para la formación de metionina a partir de la homocisteína y la creatina (Bondi, 1989).

2.3.3 Colina y su importancia en el metabolismo

La colina desempeña un papel importante en el metabolismo, especialmente en el transporte de los lípidos. Es un agente lipotrópico debido a su capacidad para prevenir o corregir el exceso de deposición de grasa en el hígado, que generalmente aparece como consecuencia de su deficiencia en la dieta. La fosfatidilcolina es el principal fosfolípido de los rumiantes, esencial para la absorción y transporte de lípidos, mantenimiento de las estructuras de la membrana celular, la señalización celular y la síntesis de las lipoproteínas (Zeisel y Holmes-McNary, 2001). El segundo compuesto sintetizado a partir de la colina, la acetilcolina, es un neurotransmisor en el sistema nervioso central y periférico, y es crítico en las uniones neuromusculares para las contracciones musculares.

La acetilcolina es sintetizada a partir de colina y acetyl-CoA en las neuronas. Debido a que la colina es un componente crítico para la síntesis de fosfolípidos y de neurotransmisores, apoya la integridad estructural y las funciones de señalización en las membranas celulares, tiene influencia en la neurotransmisión colinérgica y la cognición, además de ser una fuente importante como donador de grupos metilos lábiles vía la betaína para las reacciones de metilación, como en los casos de la formación de metionina a partir de homocisteína y creatina a partir de ácido guanidoacético (Erdman, 1992; Zeisel y Holmes-McNary, 2001).

2.4 Colina en la nutrición de rumiantes

Sharma y Erdman (1989a) calcularon la degradación ruminal *in vitro* de la colina que se encuentra en los alimentos utilizados para elaborar dietas en vacas. Los valores de colina degradable en rumen fueron; 79.4, 84.7, 82.9, 83.8, 98.0 y 98.6% para cebada, harina de semilla de algodón, harina de pescado, harina de soya, estearato de colina y cloruro de colina, respectivamente. Diversos estudios demuestran que la colina que está

presente o que se agrega a los alimentos es degradada en rumen (Atkins *et al.*, 1988; Sharma y Erdman, 1989b), y ésta debe ser protegida de su degradación para que pueda ser aprovechada por los rumiantes, debido a que la colina que pasa al intestino delgado en vacas se encuentra en forma de fosfatidilcolina presente en los microbios del rumen, principalmente los protozoos (Broad y Dawson, 1976). Dietas altas en concentrado reducen el número de protozoos, lo que limita la disponibilidad de colina a las vacas

Estudios sugieren que la adición de colina protegida (CPR) ha mejorado la producción de vacas lecheras (Sharma y Erdman, 1989a; Erdman y Sharma, 1991; Pinotti *et al.*, 2003) y mejorado la ganancia de peso de vaquillas (Bindel *et al.*, 2000) y novillos (Drouillard *et al.*, 1998; Bryant *et al.*, 1999). Sin embargo, pocos estudios se han llevado a cabo con la inclusión de colina protegida (CPR) con ovinos en crecimiento (Bryant *et al.*, 1999). Las diferencias en respuesta a la colina protegida también podrían estar relacionadas con la calidad del producto utilizado y el método de protección contra la degradación del rumen, ya que se han demostrado diferencias en el grado de protección del rumen para diferentes productos (Kung *et al.*, 2003).

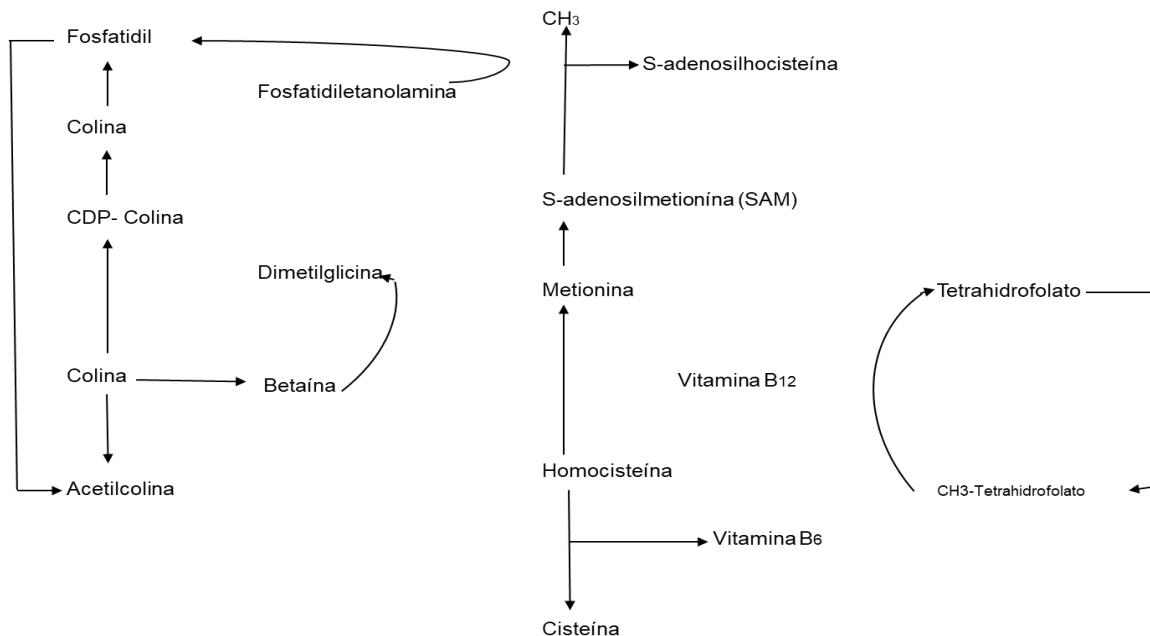


Figura 3. Vías metabólicas de la colina y su relación con el ácido fólico y la metionina, como donadores de grupos metilo de las vías de metilación (Donkin, 2011).

2.4.1 Colina en vacas lecheras

En vacas lecheras el período de transición es crucial durante el ciclo de lactancia debido a su relación con trastornos en el equilibrio hormonal y energético. La colina no protegida se degrada fácilmente en el rumen; por lo tanto, el uso de colina protegida (CPR) es una medida preventiva para enfermedades como de hígado graso y cetosis; al mejorar parámetros de composición y producción de la leche (Jayaprakash *et al.*, 2016).

Las vacas lecheras de alta producción no tienen la capacidad de satisfacer sus requerimientos de energía durante la transición del período seco a la vaca recién parida. La demanda de glucosa (como fuente de energía) aumenta 2.5 veces del periodo pre-parto al post-parto, presentando la mayor deficiencia una o dos semanas después del parto. Conforme la vaca comienza a utilizar una gran cantidad de energía para la producción de leche, no tiene capacidad de consumir suficiente materia seca para satisfacer su requerimiento de energía (NRC, 2001; Overtone y Waldron, 2004).

Lima *et al.* (2007) encontraron que el alimentar con 15 g /d de colina protegida a vacas lecheras a los 25 días preparto hasta los 80 días postparto no influyó en las concentraciones de glicógeno en el hígado, pero tendió a reducir la concentración de triacilglicerol en el tejido hepático y redujo el riesgo de hígado graso. Lima *et al.* (2007) reportaron que la adición de colina protegida en vacas en transición antes del parto no influyó en la ingesta de materia seca (MS) antes del parto, pero cuando se complementó después del parto, tendió a aumentar la ingesta postparto.

Cooke *et al.* (2007) observaron una disminución en la concentración de triglicéridos (TAG) hepático al suplementar 15 g /d de colina protegida (CPR) a vacas no lactantes, en las que se inducía lipidosis hepática al restringir la ingesta de alimento al 30% de los requerimientos de energía para mantenimiento y en la gestación. La colina ayuda a reducir la lipidosis hepática la cual se considera un factor que contribuye o predispone a otros trastornos metabólicos periparturales, a enfermedades infecciosas y al deterioro del rendimiento reproductivo de las vacas lecheras (Drackley y Anderson, 2006).

Soltan *et al.* (2012) indicaron que el adicionar metionina o colina protegida en la dieta mejoró la producción de leche y la composición de la misma en vacas lecheras. Elek

(2008) encontró que el rendimiento, el contenido de grasa y proteína en la leche fueron significativamente más altos en el grupo con colina protegida en comparación con el grupo testigo. Leiva *et al.* (2015) reportaron que en vacas en transición, alimentadas con colina protegida (50 y 100 g / d; 18.8% de CPR) la adición de CPR aumentó las concentraciones de haptoglobina e insulina y benefició la composición de la leche.

2.4.2 Colina en ovinos y caprinos

Rodríguez-Guerrero *et al.* (2018) observaron en corderos (Pelibuey x East Friesian) alimentados con dosis de metionina protegida (MPR; de 0 y 1.5 g / d) y dosis de colina herbal (biocholine®; de 0 y 4 g / d) que los tratamientos no mostraron efectos sobre las variables de rendimiento (crecimiento del cordero, consumo y conversión alimenticia); sin embargo, los ácidos grasos no esterificados (NEFA) se incrementaron con colina herbal y no se vieron afectados por la metionina protegida (MPR).

La biocholine® (colina herbal o biocolina) en corderos incrementó las concentraciones de glucosa y el colesterol, mientras que la MPR aumentó las concentraciones de triglicéridos, la albúmina y la proteína plasmática. La adición de colina herbal y MPR no mejoró el crecimiento de los corderos; sin embargo, la colina herbal y MPR mostraron un efecto lipotrópico movilizándolo NEFA y estimulando la glucosa (Rodríguez-Guerrero *et al.*, 2018).

Li *et al.* (2015) observaron el efecto de la colina protegida (CPR) sobre el crecimiento, los lípidos en sangre, la calidad de la carne y la expresión de los genes implicados en el metabolismo de los ácidos grasos en los corderos jóvenes. Corderos (Dorper x Hu) se alimentaron con 0%, 0.25%, 0.50% y 0.75% CPR durante 60 días. La suplementación de 0.25% de CPR aumentó la ganancia diaria de peso promedio de corderos, sin embargo, la adición de 0%, 0.25%, 0.50% y 0.75% CPR no tuvo un efecto significativo sobre la ingesta de alimento. Los valores de pH de la carne se incrementaron a 0.25% de CPR y en parámetros de calidad de carne como la pérdida de agua por goteo, así como la fuerza de corte de la carne disminuyeron significativamente en los corderos suplementados con CPR, sin observar cambios significativos en el porcentaje de músculo y grasa intramuscular.

La adición de CPR no mostró un efecto significativo ($p < 0.05$) sobre las concentraciones de triglicéridos y colesterol en el suero; no obstante, la concentración de lipoproteínas de alta densidad disminuyó al adicionar 0.50% de CPR y las concentraciones de lipoproteínas de baja densidad aumentaron con 0.75% de CPR. Con respecto al músculo *Longissimus dorsi*, las expresiones del grupo de diferenciación 36 (CD36), la acetil-CoA carboxilasa (ACC) y los genes de la ácido graso sintetasa (FASN) se incrementaron con concentraciones de 0.25% de CPR (Li *et al.*, 2015).

Li *et al.* (2015) reportaron que la adición de 0.75% de CPR aumentó la expresión de la lipoproteína lipasa (LPL) y genes FASN, y a su vez disminuyó la expresión del gen ACC y no tuvo efecto sobre el gen CD36. Los resultados de este estudio mostraron que la suplementación de 0.25% de CPR puede promover el crecimiento de los corderos y mejorar la calidad de la carne por efecto en los perfiles de lípidos en la sangre y el metabolismo de los ácidos grasos en los músculos esqueléticos. Estos autores enfatizan que la suplementación con CPR al 0.25% deben validarse con un mayor número de animales y que las dosis más altas, principalmente la de 0.75% de CPR, mostraron efectos adversos sobre el aumento de peso vivo y la expresión de ACC.

2.5 Colina en la reproducción

Habeeb *et al.* (2017) reportaron un efecto de la CPR sobre la eficiencia productiva y reproductiva de cabras Zaraibi alimentadas con de 10, 20 y 40 g / d, los resultados reportados mostraron que el número de partos gemelares y trillizos aumento. El peso al nacimiento de los corderos incrementó en los tratamientos (10, 20 y 40 g / d) con CPR con respecto al grupo testigo, se encontró que al adicionar CPR 20 días antes del parto y 60 días después del parto la tasa de viabilidad de los corderos nacidos durante el período de lactancia mejoró debido a la suplementación de CPR (10, 20 y 40 g / d) a las madres (Habeeb *et al.*, 2017).

Habeeb *et al.* (2017) observaron que las concentraciones de colina en leche y la secreción total de colina a través de la leche aumentaron progresivamente de manera significativa con el aumento de CPR en la dieta. A su vez se observó un aumento en el peso corporal vivo y un aumento corporal diario de las crías machos y hembras al

momento del destete conforme se incrementaban las concentraciones de CPR en la dieta.

El número de muertes de crías por tratamiento desde el nacimiento hasta el destete disminuyó al agregar CPR a la dieta de las cabras Zaraibi. El intervalo de los días desde el destete hasta el primer estro y la duración del estro (días) disminuyeron significativamente debido a la adición de CPR a la dieta de cabras, pero sin diferencia entre 20 y 40 g diarios de CPR. El porcentaje de gestación fue menor en el grupo testigo (80%) con respecto a los grupos que recibieron 10 g de CPR (90%) y los grupos que recibieron 20 y 40 g de CPR al día (100%). Es importante resaltar que el tiempo de retorno al estro en cabras lecheras posparto fue de 4.4 y 6.9 días antes del destete en cabras que recibieron 20 y 40 g de CPR por día (Habeeb *et al.*, 2017).

2.6 La mejora de la salud después del parto suministrando colina protegida

Lima *et al.* (2007) llevaron a cabo dos experimentos para evaluar el efecto de la colina protegida (CPR) durante el período de transición, incidencia de trastornos de la salud, la lactancia y la reproducción de las vacas lecheras.

En el experimento 1 donde 362 vacas Holstein fueron asignadas a los tratamientos (15 gramos de CPR /d) a 253 días de gestación, y fueron alimentadas hasta 80 días de lactación. En el experimento 2 donde 573 vacas Holstein primíparas fueron asignadas a los tratamientos a los 256 días de gestación y se alimentaron sólo durante el período preparto con 15 g de CPR / d.

En el experimento 1; la alimentación de colina protegida antes y después del parto redujo la incidencia de cetosis clínica y subclínica, y la proporción de vacas con cetonuria. Las vacas que recibieron CPR durante todo el período de transición experimentaron menor mastitis, aunque la retención placentaria, enfermedades uterinas, y el desplazamiento de abomaso no se vio afectado (Lima *et al.*, 2007), reduciendo la morbilidad general de vacas.

En el experimento 2; Lima *et al.* (2007) observaron que en vacas primíparas que se alimentaron con CPR durante el preparto, la incidencia de cetosis y otras enfermedades postparto fueron similares entre los tratamientos y encontraron que el comportamiento

reproductivo de vacas en general, no fue influenciado por la alimentación de colina, mostrando que la alimentación con CPR no afecta a las vacas gestantes a la primera inseminación y el mantenimiento de la gestación en ambos experimentos. Estos resultados sugieren que la alimentación de colina protegida durante todo el período de transición mejora de la salud postparto y reduce al mínimo el riesgo de cetosis en las vacas lecheras; sin embargo, estos beneficios en la salud no reflejaban mejor reproducción. Por otra parte, cuando solo se alimentó con CPR a vacas primíparas durante el periodo de preparto no se mostraron mejoras en la reproducción y en la salud después del parto.

Lima *et al.* (2007) demostraron que la alimentación con CPR antes y después del parto aumenta las concentraciones de colina en plasma y reduce el hígado graso, de acuerdo con lo reportado por Baldi y Pinotti (2006), así mismo la alimentación de CPR antes y después del parto reduce la incidencia de cetosis. Las concentraciones elevadas de 3-hidroxiacetato podrían deteriorar las funciones de las células inmunes con posible susceptibilidad para las infecciones (Klucinski *et al.*, 1988).

Los neutrófilos tienen una función fundamental en los mecanismos de defensa contra patógenos microbianos en el organismo. Estas células llegan al sitio de infección con la capacidad innata de ingerir y destruir microorganismos. La destrucción de los patógenos es regulada por dos procesos: 1) la activación del sistema enzimático NADPH oxidasa permite la producción de metabolitos tóxicos del oxígeno durante el fenómeno conocido como estallido respiratorio y 2) la fusión de los gránulos intracelulares con el fagosoma (vesícula que contiene los microorganismos ingeridos) y liberación de su contenido en esta vesícula (Cornejo *et al.*, 2000).

Hoeben *et al.* (1997) informaron que la exposición de los neutrófilos a las elevadas concentraciones de cetonas reduce el estallido respiratorio, debido a este efecto inhibitor en la actividad de estallido respiratorio de los leucocitos polimorfonucleares bovinos (PMNL). En sangre un nivel elevado de ácido butírico después del parto en vacas de alto rendimiento puede ser, en parte, responsable de la mayor susceptibilidad a infecciones locales y sistémicas durante el período posparto y durante la cetosis subclínica y clínica.

Hammon *et al.* (2006) demostraron que las vacas que desarrollan enfermedades uterinas habían reducido la función de los neutrófilos antes del parto. Es factible reducir este riesgo al adicionar CPR en alimentación para disminuir la cetosis trayendo un beneficio de salud de la vaca lechera.

2.7 Protocolos de sincronización de estros

La sincronización del celo se ha desarrollado con el objetivo de aumentar el porcentaje de gestación, facilitar la inseminación artificial (IA), sincronizar partos y destetes en épocas específicas (Jáchle, 1995). Factores que ayudan a la producción ganadera contemplan una eficiencia reproductiva, por ejemplo, buena fertilidad de los animales, detección oportuna de celos, eficiente inseminación, buenas prácticas de manejo, nutrición, sanidad y administración del hato (INTA, 2003; Dejarnette *et al.*, 2004)

La sincronización de celo se logra manipulando la vida funcional del cuerpo lúteo del ovario ya sea mediante la inducción de lúteolisis (solo durante la estación reproductiva), aplicando PGF_{2α} o sus análogos durante el diestro entre los 9 y 13 días del celo en la oveja (si se conoce la fecha del celo anterior) o de 7 a 11 días si no se conoce la fecha del celo anterior (Willadson, 1979; Baril *et al.*, 1993).

2.7.1 Importancia

La sincronización del estro es una técnica que tiene como finalidad mantener a un grupo de hembras receptivas (en estro) y listas para reproducirse en el momento que el productor lo requiera, ofrece las ventajas de realizar mejoras genéticas con el uso de la inseminación artificial o transferencia de embriones, además, obtener rebaños de corderos uniformes, facilita el manejo del parto, y otros aspectos como la sanidad, nutrición y animales remplazo. No obstante, es importante tomar en cuenta el estado nutricional y fisiológico en el que se encuentra la hembra, así como factores ambientales presentes al momento de la sincronización que pueden influir en la respuesta a los tratamientos hormonales (Cordova-Izquierdo *et al.*, 2008).

2.7.2 Tipos de protocolos de sincronización de estros

Con el fin de aumentar la fertilidad en ovejas y cabras, el estro puede ser manipulado por alteración del fotoperíodo, estimulación de las ovejas por el macho y mediante la

aplicación de métodos farmacológicos para sincronizar su presentación. No obstante, lograr aceptables tasas de gestación requiere un cuidadoso manejo tanto de la hembra como del macho (Sharkey *et al.*, 2001).

En condiciones naturales, el mecanismo básico que preside el cese de la maduración de folículos en el ovario radica en el bloqueo de producción de FSH por la progesterona y por estrógenos procedentes del cuerpo lúteo. En consecuencia, en la sincronización de estros se utiliza la administración de estas hormonas esteroideas o sus derivados con el fin de imitar los efectos naturales del cuerpo lúteo (McDonald, 1996).

2.7.3 Protocolos de sincronización natural

El “efecto macho” consiste en la inducción del celo y la ovulación en un grupo de hembras en anestro cuando son expuestas a la presencia del macho, después de un período previo de aislamiento (superior a las tres semanas). Este contacto hace que las hembras en anestro reciban tanto señales olfativas (feromonas) como no olfativas (contacto visual, físico o sonoro); siendo estas últimas complementarias y, en algunos casos, sustitutivas de las feromonas (Martin *et al.*, 1986; Pearce y Oldham, 1984; 1988).

Gelez y Fabre-Nys (2004), señalan que las feromonas son captadas por vía olfatoria, a través de la mucosa nasal y del órgano vomeronasal, transmitiéndose la señal hacia los bulbos olfatorios principal y accesorio, respectivamente manteniendo una relación con el sistema neuroendocrino, traduciéndose finalmente en un aumento de la frecuencia de pulsos de LH hasta inducir la descarga preovulatoria de LH y la ovulación, entre las 30 y 72 horas posteriores al contacto.

2.7.4 Protocolos de sincronización farmacológicos (hormonas)

Algunos autores han indicado que los estresores, a través de los componentes hormonales del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal, son capaces de alterar la interacción entre GnRH y síntesis de estradiol, cuya elevación está directamente relacionada con la oleada preovulatoria de LH y la ovulación (Smith y Dobson, 2002).

2.7.5 Sincronización de estros con progestágenos (P₄)

El uso de progestágenos (P₄) en la sincronización del estro en ovejas tienen la finalidad de simular la presencia de un cuerpo lúteo, de tal forma que la P₄ presente pueda

inhibir la secreción de los pulsos de GnRH en el hipotálamo y de la FSH y LH en la hipófisis, deteniendo la maduración de folículos pre-ovulatorios y activándola al momento de su retiro, lo que hace a este tipo de fármacos hormonales los más efectivos en la programación del estro incluso durante el periodo de anestro estacional (Wildeus, 2000).

Amiridis *et al.* (2005), describen que los tratamientos hormonales para la sincronización de estros, así como para la inducción de ovulaciones, se han basado en la utilización combinada de hormonas con el uso de un agente bloqueador de los ciclos estrales y ovulaciones fisiológicas (progesterona y sus derivados sintéticos).

Urviola *et al.* (2005) y Ali (2007) señalan que esponjas impregnadas con acetato de fluorogestona (FGA) inducen el estro en 90 y 100 % de ovejas, así como un porcentaje de gestación que oscila entre 65 y 95 %, en esponjas con presentaciones de 20, 30, 40 y 45 mg.

Abecia *et al.* (2002), reportan 30 % de fertilidad en ovejas inseminadas artificialmente y sincronizadas con 40 mg de FGA, sin embargo, cuando las hembras recibieron monta natural la fertilidad incrementó hasta el 90 %.

Álvarez (1997) sugiere utilizar esponjas de 30 mg de acetato de fluorogestona (FGA) en ovejas en anestro, las esponjas de 40 mg en hembras en estación reproductiva y para hembras vírgenes, las esponjas de 45 mg. Así mismo Mustafa *et al.* (2007), evaluaron el efecto de la reducción del tiempo de exposición al progestageno, de 12 días a cuatro días, en el periodo de anestro, sin encontrar diferencias significativas en respuesta del estro (83 % FGA 12 días y 67 % FGA 4 días) y porcentaje de gestación (67 % FGA 12 días y 50 % FGA 4 días) respectivamente y concluyeron que disminuir la fase lútea sincronizada (4 d) con FGA presenta resultados similares a los de una fase lútea normal (12 d) en ovejas fuera de la época reproductiva. Otro análogo de la progesterona es el acetato de medroxi progesterona (MAP) existente en presentaciones de esponjas con 60 mg, reportando del 60 al 90 % de hembras en estro (Boscos *et al.*, 2002).

En un estudio realizado por Viñoles *et al.* (2000), se acortó el tiempo de exposición a MAP de 12 a 6 días, sin encontrar diferencias en la presentación de estro, con 95 % de estros en el tratamiento por seis días y 88 % en el de 12 días, sin embargo, encontraron

diferencias en el porcentaje de gestación, el cual fue mayor (87 %) en el tratamiento por seis días, en comparación con el de 12 días (63 %), por lo que sugieren que la concentración del progestágeno posiblemente afectó la dinámica folicular. Molina *et al.* (2005), utilizaron un dispositivo CIDR con 300 mg de P₄ durante 12 días, reportando el 100 % de presentación de estro, además del 77.8 % de gestación en ovejas con presencia de un cuerpo lúteo funcional y el 83.3 % de gestaciones en ausencia del mismo, durante la época reproductiva.

Walker *et al.* (1989), trabajaron con rebaños de ovejas Merino Sur de Australia y reportaron el momento de la ovulación inducida con 400 UI gonadotropina suero yegua preñada por oveja (PMSG) y un dispositivo intravaginal que contiene 60 mg de acetato de medroxiprogesterona (MAP), encontrando que las ovejas en las que no se usan altos niveles de gonadotropinas, un solo CIDR es suficiente. La ventaja de utilizar CIDRs radica en que son más fáciles de aplicar y el porcentaje de pérdidas de CIDRs es muy bajo comparado al de las esponjas intravaginales, observándose menos adherencias vaginales, hemorragias y secreciones pútridas.

Ungerfeld y Rubianes (2002), evaluaron el efecto de MAP, FGA y CIDR durante el periodo de 6 d, sin encontrar diferencias entre tratamientos para presentación de estro (MAP: 94.1, FGA: 91.5 y CIDR: 95.9 %), en porcentaje de gestación no hubo diferencia con los tratamientos (MAP: 62.5, FGA: 76.4 y CIDR: 59.6 %), sin embargo, sugieren que cambios en la duración de la fase lútea, podrían causar un inadecuado desarrollo folicular y, por consecuencia, un prematuro pico preovulatorio de LH, lo que afectaría de manera directa sobre la fertilidad de la hembra (Skinner *et al.*, 2000).

2.7.6 Sincronización de estros con agentes luteolíticos (PGF_{2α})

PGF_{2α} es el factor luteolítico que induce la regresión del cuerpo lúteo a través de la interrupción de la fase progestacional del ciclo estral, iniciando así un nuevo ciclo (Herrera *et al.*, 1990, Amiridis *et al.*, 2005). La prostaglandina F_{2α} (PGF_{2α}) es una hormona natural producida por el endometrio uterino, la cual causa la regresión normal del cuerpo lúteo. La inyección con prostaglandina simula o imita el proceso normal de luteólisis (Rodríguez, 2003).

Urviola *et al.* (2005), evaluaron el efecto de la PGF_{2α} en los días 4 y 10 del ciclo estral de la oveja, teniendo como resultado el 100 % de incidencia de estro en ambos tratamientos, y el 63.6 % de gestación en ovejas tratadas con PGF_{2α} el día 10 y 65 % en ovejas tratadas con PGF_{2α} el día (d) 4, sin embargo, el inicio de estro posterior a las aplicaciones de PGF_{2α} fue menor en el grupo tratado con PGF_{2α} el día 4 (34.28 ± 4.2 h), comparado con el grupo tratado con PGF_{2α} el día 10 (47.45 ± 7.0 h) concluyendo que el efecto posiblemente se deba a que los cuerpos lúteos de mayor edad (10 d) secretan mayor cantidad de progesterona en relación a los de menor tiempo (4 d), por lo tanto, se retrasa la presencia del estro, no obstante, la presentación de estro y gestación fue semejante para los dos tratamientos.

Acryptopoulou y Haresign (1980) demostraron una alta efectividad luteolítica con la administración de 100 µg de cloprostenol entre los días 5 y 14 del ciclo; produciéndose una rápida caída de las concentraciones plasmáticas de P₄ por debajo de 0.5 ng/mL durante las 24 horas posteriores a la inyección y una alta sincronización de celos y pico preovulatorio de LH (37.7 ± 1.6 y 45.3 ± 3.2 horas, respectivamente).

Bo *et al.* (1995) mencionan que la luteólisis, inducida con media dosis de PGF_{2α} (75 µg de D-Cloprostenol) en el día 0, incrementó las tasas de gestación en vaquillonas cruzas cebú tratadas con un dispositivo de progesterona. Naqvi *et al.* (1998) reportaron una eficiente sincronización del estro administrando dosis de 10 o 7.5 mg de P₄ en un intervalo de 10 días, independiente del día del ciclo estral en ovejas Kheri.

Hackett y Robertson (1980) reportaron que las ovejas a las que se les administró la PGF_{2α} del día dos al 15 del ciclo estral, presentó una menor respuesta en los días 2-3 del ciclo estral (20%); sin embargo, cuando las dosis fueron aumentadas en estos días, la respuesta alcanzó un 100%. Por tanto, los investigadores concluyeron que, al inicio del ciclo estral, el tejido luteal en formación es más resistente a la luteólisis provocada por la PGF_{2α} y que, debido a la vida media corta de la PGF_{2α}, pequeñas dosis repetidas de esta hormona pueden tener el mismo efecto de una única dosis elevada. Por otro lado, la asociación de PGF_{2α} y de las gonadotropinas tipo eCG aumentan significativamente la tasa ovulatoria (McNatty *et al.*, 1982).

2.7.7 Sincronización con precursores ovulatorios y luteotrópicos

Amiridis *et al.* (2005) reportan que algunas hormonas actúan como agentes inductores de la ovulación y apoyo luteotrópico, tal es el caso de la gonadotropina coriónica equina (eCG) y hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH). Algunos de estos protocolos que utilizan progesterona y gonadotropina coriónica equina (eCG) inducen celos fértiles en ovejas, independientemente de la época del año y de las condiciones ambientales (Cognie y Mauleon, 1989).

La administración de eCG al momento de retirar el CIDR ha demostrado estimular el crecimiento folicular y el tiempo de ovulación durante la estación del año en que la fertilidad se encuentra disminuida (Motlomelo *et al.*, 2002).

Knights *et al.* (2001) observaron que la administración de FSH, 24 h antes de retirar la progesterona, aumentó el número de nacimientos por oveja en más de un cordero por parto y, por lo tanto, la prolificidad. Driancourt *et al.* (1993) mostraron que las gonadotropinas del tipo eCG afectan los mecanismos responsables por el crecimiento folicular incrementando la tasa ovulatoria, reduciendo el diámetro de los folículos menores (0.8 mm en la oveja), o por la protección de la atresia de los folículos en el momento de la selección.

2.7.8 Protocolos de combinación de fármacos hormonales en el manejo del ciclo estral de la oveja

La combinación de progestágenos y P₄ (FGA, MAP, CIDR) con prostaglandinas (PGF_{2α}) son utilizadas en la sincronización del estro hasta con el 100 % de respuesta en presentación de estro, no obstante, esto no garantiza que exista la ovulación; para ello se han utilizado otras hormonas como la GnRH, la cual estimula a la hipófisis en la secreción de gonadotropinas, necesarias en el crecimiento y maduración de folículos preovulatorios; de igual forma, también se pueden combinar con la gonadotropina coriónica equina (eCG), la gonadotropina coriónica humana (hCG) y la hormona folículo estimulante de tipo porcina (FSHp), comúnmente utilizadas para incrementar el porcentaje de ovulación, gestación y en protocolos de superovulación para la transferencia de embriones, tanto en época reproductiva como durante el anestro estacional (Fukui *et al.*, 1999; Dogan *et al.*, 2004; Kridli *et al.*, 2006).

Durante el proceso de sincronización es común el uso de P₄ y progestágenos para simular el cuerpo lúteo, o bien mediante la aplicación de prostaglandinas (PGF_{2α}) como agentes luteolíticos, sin embargo, estudios recientes muestran la participación del efecto macho como una variante más para mejorar la eficiencia reproductiva de la hembra y a la vez disminuir el uso de fármacos hormonales (Álvarez y Zarco, 2001; Ungerfeld *et al.*, 2005).

Godfrey *et al.* (1995), evaluaron el uso del CIDR y de la PGF_{2α} en ovejas y concluyeron que las hembras tratadas con CIDR presentan el estro más rápido que los animales tratados con la PGF_{2α} (1.4 y 2.9 ± 0.4 días, respectivamente), debido a que las concentraciones séricas de P₄ en el décimo día después del estro fueron semejantes para los dos grupos.

Dogan y Nur (2006) evaluaron protocolos para inducir al estro ovejas durante el anestro, tomando como base al MAP en combinación con PGF_{2α} (125µg) y eCG (500 UI), con inseminación artificial a las 48 y 60 h de retirado el progestágeno, reportan que existió variación en inicio de estro, presentándose antes (31.1 ± 1.8 h) en los animales tratados con eCG, se estima que dicho efecto se debe a que la eCG estimula el desarrollo de folículos, por lo tanto, los niveles de E₂ aumentan anticipando la presencia del estro en este grupo de ovejas, no obstante, el porcentaje de gestación no fue diferente entre tratamientos. La eCG debe estar asociada al CIDR para estimular la ovulación, no solamente en la estación reproductiva (Rubianes *et al.*, 1998, Safdarian *et al.*, 2006). Evans y Robinson (1980), observaron que el uso aislado de eCG, en altas dosis produce una respuesta menos eficiente que cuando la hormona está combinada con progestágenos exógenos, observando en este caso una mejor respuesta de fertilidad. Datos reportados por Cardwell *et al.* (1998) en ovejas mestizas Dorset con Rambouillet indicaron que el inicio del estro y de la ovulación se manifiesta más rápido y uniformemente, como resultado de la combinación del progestágeno con la eCG.

III. OBJETIVOS

3.1 General

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la adición de 4 gramos de colina herbal y colina protegida (CPR) en las variables reproductivas de ovejas primaras.

3.2 Específicos

- Evaluar el efecto de colina en las variables de respuesta: presentación del estro (inicio y duración), porcentaje de gestación, tipo de parto e índice de prolificidad.
- Evaluar la adición de colina y su relación con la grasa dorsal y área del musculo *longissimus dorsi*
- Evaluar la influencia de colina y su respuesta en el perfil de secreción de progesterona (P₄) y concentración de insulina.

IV. HIPÓTESIS

La suplementación de 4 g diarios de dos fuentes de colina (herbal y protegida) en la dieta para ovejas primaras mejora las variables reproductivas.

4.1 Planteamiento del problema

La búsqueda de alternativas para mejorar los sistemas de producción ovina radica en la necesidad de la población hacia productos y subproductos que se obtienen de esta especie; la alimentación, el manejo reproductivo y el bienestar animal son factores determinantes en los sistemas de producción pecuarios. La combinación de estos factores conlleva a mejorar la producción animal. La alimentación es un factor importante; sin embargo, el uso de productos sintéticos crece de manera exponencial, el uso de este tipo de productos trae consecuencias en la salud animal y humana. Si lo que se desea es fortalecer factores reproductivos y de bienestar animal la alimentación juega un papel importante, es por esto que la presente investigación busca mejorar aspectos reproductivos en ovejas primaras a través de la adición de dos fuentes de colina (herbal y protegida) y el efecto que este nutriente tiene dentro de la fisiología reproductiva y productiva.

V. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo busca alternativas alimenticias que permitan aprovechar los nutrientes aportados por la dieta, esto trae como consecuencia una mejora en la reproducción ovina. El adicionar 4 gramos diarios de dos fuentes de colina (herbal y protegida) durante el estro sincronizado en dietas para ovejas primaras contribuye a mejorar las variables reproductivas. La colina afecta el metabolismo energético de la oveja lo cual afecta la disponibilidad y transporte de nutrientes en el organismo, con el objetivo de mejorar la producción ovina y, por ende la economía local y nacional.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Descripción del lugar de estudio

La investigación se realizó en los meses de octubre a diciembre del año 2016 en la Granja Experimental del Programa de Ganadería, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados. La zona de estudio presenta una temperatura media anual de 15.9°C, geográficamente localizado con una longitud: 19°27'18", latitud: -98°54'26" y una altura aproximada de 2220 msnm, la precipitación media anual es de 632.5 mm (García, 1988).

6.2 Animales y tratamientos

Noventa y dos hembras primaras de 15 meses de edad, híbridas de las razas (Dorset x Kathadin), con aproximadamente 50 ± 1.25 kg de peso inicial, desparasitadas con Endovet[®]NF (1 mL por cada 50 kg de peso vivo) vía subcutánea, vitaminadas con Vigantol A.D.E [®] (1 mL) vía intramuscular y aplicación de bacterina (BOBACT[®]-8 vías) 2.5 mL por oveja, con una condición corporal de 3 en una escala de 1 a 5 (Russel *et al.*, 1969). El manejo zootécnico consistió en esquila y despezñado previo al inicio del experimento.

Los tratamientos (T) consistieron en; T1: Dieta base sin colina (Testigo, n=30); T2: Dieta base + 4 g de colina herbal (n=31); T3: Dieta base + 4 g de colina protegida (n=31). Las ovejas se alimentaron con heno de avena y alfalfa, más 250 g de las dietas experimentales adicionadas con colina (Cuadro 1) durante el periodo de sincronización y monta (36 días).

6.3 Ultrasonografía área del músculo *longissimus dorsi* y espesor de grasa dorsal

Al inicio y final del periodo experimental (días 1 y 36 de suplementación), se midió la grasa dorsal (GD) y el área del músculo *longissimus dorsi* (AML) en el lado derecho dorsal, entre el espacio intercostal de la 12a y 13a costilla, por medio de ultrasonido SONOVET 600[®] (Medison, Inc., Cypress, California, EUA) con un transductor trasrectal de 7.5 MHz.

Cuadro 2. Composición de las dietas experimentales

Composición	Testigo (T1)	Colina (herbal)^{¶¶} (T2)	Colina protegida^{¶¶¶} (T3)
Maíz	80.66	78.70	78.70
Pasta de soya	13.15	13.51	13.51
Sal común	0.20	0.20	0.20
Melaza	5.00	5.00	5.00
Colina	-	1.60	1.60
¶Minerales	1.00	1.00	1.00
Total (kg)	100.00	100.00	100.00

Composición química de las dietas experimentales

Materia seca (ms)	89.41	91.20	90.56
Cenizas	3.77	3.85	3.76
E.M (Mcal/kg)	3.05	2.90	3.33
P.C	15.12	14.72	14.22
FDN	17.48	17.03	16.52
FDA	6.46	6.91	5.61

¶Superbayphos con vitamina A[®] cada 100g contienen: P 10.0% min, Ca 12.0% max, Fe 0.5% min, Mg 0.1 % min, Cu 0.15% min, Zn 0.12% min, Mn 0.055% min, Co 0.05% min, I 0.02% min, Se 200 ppb min y vitamina A 50000 UI min. ¶¶ Choline chloride 50% SiO₂ (Orffa Elovitals), ¶¶¶Biocholine[®] (Indian Herbs and Technofeed México).

6.4 Sincronización de estros

La presincronización se realizó mediante dos aplicaciones de 125 µg c/u de prostaglandina F_{2α} (PGF_{2α}, cloprostenol[®]), en los días -8 y 0 del protocolo de sincronización de estros. Seis días después de la segunda aplicación de la PGF_{2α} se insertó una esponja intravaginal impregnada con 20 mg de progesterona (esponjas con acetato de crolonone) por 11 días (Figura 4).

6.5 Detección de estros, retorno al estro y diagnóstico de gestación

A las 24 h después del retiro de la esponja, se utilizó un carnero para identificar las hembras que presentaron estro en respuesta a la sincronización; posteriormente se

monitoreó cada 6 h, durante 72 h, para determinar la duración y término del estro. Las hembras recibieron tres montas; la primera al inicio del estro, y dos posteriores a intervalos de 12 h. El retorno al estro se detectó en dos periodos (mañana y tarde) entre los días 14 y 17 después del estro sincronizado y monta. La gestación se confirmó 31 días después de la última monta, por medio de un ultrasonido SONOVET 600® con transductor lineal (trans-rectal) de 7.5 Mhz vía transrectal para observar estructuras embrionarias (Figura 4).

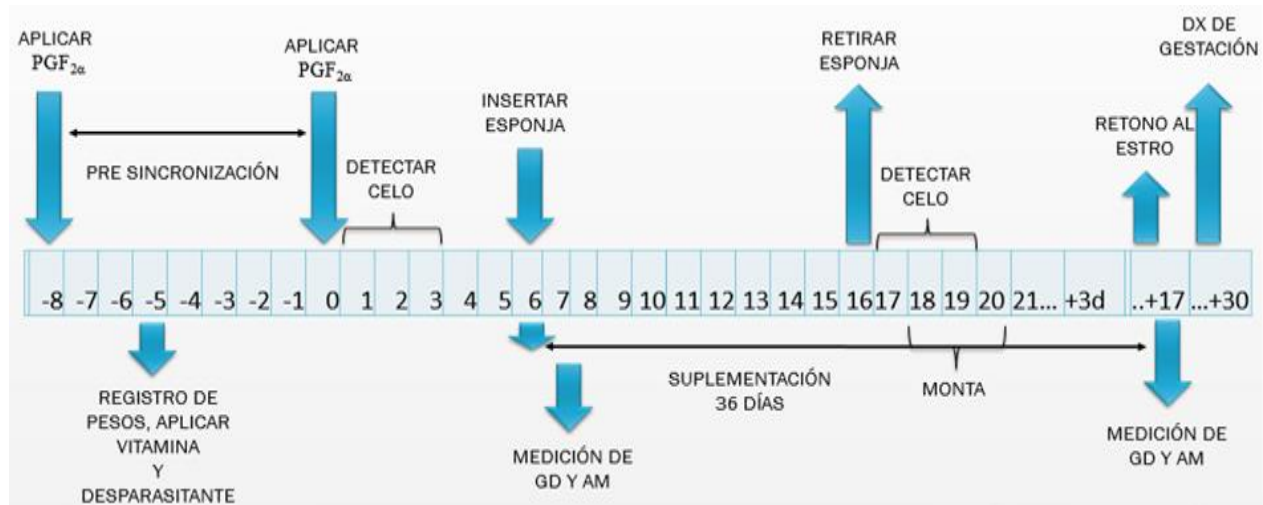


Figura 4. Protocolo de sincronización de estros en ovejas primíparas

6.6 Muestreo sanguíneo

Se recolectaron muestras de sangre (5 mL) de la vena yugular, antes de colocar la esponja y después cada 48 h, para determinar la concentración de progesterona durante el periodo de sincronización de estros. Las concentraciones de insulina (INS) se monitorearon antes de ofrecer el alimento, en los días 1 y 36 del periodo de adición de colina.

Todas las muestras se centrifugaron por 20 min a 2500 gravedades para separar el suero sanguíneo, el cual se almacenó a -20 °C en un congelador (Tappan EUR251P7W, Electrolux Home Products North America, EUA) hasta su análisis hormonal.

6.7 Análisis hormonales

Para determinar las concentraciones de P4 se realizó un radioinmunoanálisis (RIA) con un kit comercial PROGEST.-CTRIA® (CIS-BIO INTERNATIONAL FRANCIA) con

coeficiente de variación (CV) intra e inter ensayo de 4.1 y 8.7, respectivamente y una sensibilidad 0.05 ng mL⁻¹. El análisis de insulina en plasma se realizó por RIA con una sensibilidad de 4.09 ng mL⁻¹ y coeficientes de variación intra e inter ensayo de 3.2 y 4.6 %, respectivamente.

6.8 Variables de respuesta

1) Presentación del estro.- Corresponde al número de ovejas que mostraron estro posterior al retiro de la esponja; 2) Inicio del estro.- Se refiere al lapso (horas) transcurrido a partir de que la esponja se retiró, la hora en que la oveja permaneció inmóvil y permitió la monta por el carnero; 3) Porcentaje de gestación.- Corresponde al número de ovejas que quedaron gestantes del total de ovejas que recibieron la monta; 4) Índice de prolificidad.- Es el número de corderos nacidos del total de ovejas paridas; 5) Tipo de parto.- Se refiere al número de crías paridas por la misma oveja.

6.9 Análisis estadístico

Las variables se analizaron bajo un modelo completamente al azar. Las variables tipo de parto, presentación de estro, índice de prolificidad y porcentaje de gestación se analizaron con una prueba de X^2 mediante el procedimiento PROC FREQ de SAS. A las variables inicio de estro, grasa dorsal (GD), área del músculo *longissimus dorsi* (AML) y ganancia de peso acumulada (GDPACUM) se les aplicó una prueba de comparación de medias de Tukey ($P > 0.05$) mediante el procedimiento PROC GLM (SAS, 2002).

Para las variables concentración de insulina y de progesterona, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ($P > 0.05$) y un análisis de mediciones repetidas a través del tiempo por medio del procedimiento PROC MIXED. Todas las variables se analizaron por el sistema de análisis estadístico el programa SAS versión 9.0 para Windows (2002).

Los datos de progesterona, insulina y partos se analizaron por el sistema de análisis estadístico el programa SAS versión 9.0 para Windows (2002).

$Y_{ijk} = \mu + T_i + M_j + T_i M_j + A_k(i) + E_{ijk}$. Donde:

Y_{ijk} = Respuesta del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo muestreo de la k-ésima repetición

μ =Media general

T_i = Efecto del i-ésimo parto

M_j = Efecto del j-ésimo muestreo

T_iM_j = Efecto del i-ésimo tratamiento en el j-ésimo muestreo

$A_{k(i)}$ = Efecto del i-ésimo tratamiento anidado al k-ésimo animal

E_{ijk} = Error experimental.

Para las variables que mostraron diferencia significativa ($P < 0.05$) se les realizó una prueba de Tukey.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Grasa dorsal (GD), área del músculo *Longissimus dorsi* (AML) y ganancia de peso acumulada (GDPACUM)

La adición de colina herbal y CPR no modificó el espesor de grasa dorsal con respecto al tratamiento sin colina (Cuadro 3) ($P>0.05$). Estos resultados muestran que a pesar de que el período de adición de colina (herbal y CPR) fue corto, se presentó una ligera deposición de grasa dorsal en las ovejas con CPR, que contribuye a mejorar la condición corporal de ovejas primaras, lo que debe confirmarse en próximos estudios en ovejas. Li *et al.* (2015) observaron que al suplementar corderos con 0, 0.25 0.50% y 0.75% con CPR durante 60 días no se muestran cambios significativos en el rendimiento de la canal y grasa intramuscular.

No se encontraron diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos en el área del músculo *Longissimus dorsi* (Cuadro 3); sin embargo, estudios señalan que la adición de 0.25% de CPR en corderos se relaciona con la expresión del grupo de diferenciación 36 (CD36), la acetil-CoA carboxilasa (ACC) y los genes de enzima la ácido graso sintetasa (FASN) estos resultados muestran que la suplementación de 0.25% de CPR podría promover el crecimiento de los corderos y mejorar la calidad de la carne. Esto puede estar mediado por los efectos en los perfiles de lípidos en la sangre y el metabolismo de los ácidos grasos en los músculos esqueléticos (Li *et al.*, 2015).

La ganancia de peso acumulada no presentó diferencias ($P>0.05$) entre tratamientos (Cuadro 3); no obstante, Li *et al.* (2015) observaron que la suplementación de 0.25% de CPR aumentó la ganancia diaria promedio de corderos. Habeeb *et al.* (2018) observaron que en cabras Zaraibi la metionina y colina protegidas aumentaron significativamente ($P<0.05$) el peso corporal durante diferentes períodos fisiológicos en comparación con el grupo testigo.

Cuadro 3. Variables productivas en ovejas primíparas suplementadas con dos fuentes de colina

Variables productivas	Tratamiento		
	T1:Testigo (n=30)	T2:Colina herbal (n=31)	T3:CPR (n=31)
GD final (mm)	3.22±0.13	2.95±0.13	3.22±0.13
AML final (mm ²)	1039.48±22.26	1015.71±22.22	1034.73±22.15
GDPACUM (kg)	2.95±0.50	2.57±0.50	2.50±0.50

T1 (testigo): Dieta base + 0 g oveja⁻¹; T2 (colina herbal): Dieta base + 4 g oveja⁻¹; T3 (CPR): Dieta base + 4 g oveja⁻¹.

GDFINAL (mm)= grasa dorsal final; AMLFINAL (mm²)= área del músculo *Longissimus dorsi*; GDPACUM (kg)= ganancia de peso acumulada.

7.2 Variables reproductivas

Ninguna variable reproductiva (Cuadro 4) fue influenciada por la adición de las fuentes de colina en la dieta. Con respecto a la presentación de estros se afirma que utilizar esponjas impregnadas con cronolone induce la presentación de estros, estos resultados son similares a los reportados por Urviola *et al.* (2005) quienes obtuvieron un 100% de presentación de estros con el uso de esponjas impregnadas con progestágenos.

En la variable inicio del estro (Cuadro 4) no hubo diferencia entre tratamientos ($P>0.05$). Ali (2007) observó un inicio de estro de 32 ± 5.6 h, después de retirada la esponja, mientras que Mustafa *et al.* (2007) reportan que al utilizar un progestágeno se tiene un inicio de estro de 34.5 ± 2.6 h, cuando administraron 500 UI de eCG.

En cabras Zaraibi los días que comprendieron desde el destete hasta el primer estro después del parto y la duración del estro disminuyeron significativamente debido a la adición de CPR a la dieta, el porcentaje de gestación (%) fue menor en el grupo testigo

(80%) comparado con los grupos que recibieron 10 g de CPR (90%) y que recibieron 20 y 40 g de CPR al día (100%) (Habeeb *et al.*, 2018).

En estudios realizados por Ardalan *et al.* (2010) encontraron efecto significativo en el porcentaje de concepción y los días abiertos de las vacas lecheras entre los tratamientos con CPR ($P < 0.05$), pero no hubo efecto significativo en los días del primer estro postparto y el porcentaje de vacas gestantes.

Cuadro 4. Respuesta en variables reproductivas en ovejas primaras suplementadas con diferentes fuentes de colina

Variables reproductivas	Tratamientos		
	T1:Testigo (n=30)	T2:Colina herbal (n=31)	T3:CPR (n=31)
Presentación de estro (%)	93.33 (28/30)	93.55 (29/31)	96.77 (30/31)
Inicio del estro (h)	43.28±2.57	42.00±2.48	42.07±2.57
Gestación (%)	93.33(28/30)	93.55 (29/31)	87.10 (27/31)
Índice de prolificidad	1.22 (33/27)	1.24 (36/29)	1.30 (34/26)

T1 (testigo): Dieta base + 0 g oveja⁻¹; T2 (colina herbal): Dieta base + 4 g oveja⁻¹; T3 (CPR): Dieta base + 4 g oveja⁻¹.

7.3 Concentración de progesterona (P₄) en ovejas primaras

La concentración de P₄ (Figura 5) en ovejas primaras adicionadas con colina herbal y CPR fueron diferentes entre sí, e inferiores al tratamiento testigo en todos los días de muestreo (Cuadro 5), esto se puede atribuir a que la fosfatidilcolina participa en la síntesis y exportación de triglicéridos en lipoproteínas de muy baja densidad (Zeisel, 2006) por consecuente esto afecta los ácidos grasos no esterificados (NEFA) y el colesterol plasmáticos (Pinotti *et al.*, 2003); sin embargo, Rodríguez-Guerrero *et al.* (2018) observaron en corderos en crecimiento que la Biocolina (colina herbal) incrementó las concentraciones de glucosa y el colesterol ($P < 0.01$) siendo el colesterol el precursor para la síntesis de progesterona. Los resultados obtenidos en esta investigación difieren a los reportados por Habeeb *et al.* (2018) en donde las concentraciones de P₄ en cabras que

recibieron 20 y 40 g de CPR fueron mayores que las concentraciones de P₄ en cabras que recibieron 0 y 10 g de CPR.

Sales *et al.* (2010) señalan que animales que consumen colina producen más grupos metilo, que se pueden utilizar para generar moléculas de estrógeno en folículos antrales y al transformarse en cuerpos lúteos aumentar las concentraciones de P₄. Habeeb *et al.* (2018) sugieren que al adicionar colina diariamente las concentraciones de P₄ incrementan debido a un aumento en el número de folículos antrales y cuerpos lúteos que estos a su vez incrementan los niveles de P₄ (Cushman *et al.*, 2009), por lo que es recomendable en futuros estudios incrementar los niveles de CPR y colina herbal bajo diferentes esquemas de condición corporal en rumiantes.

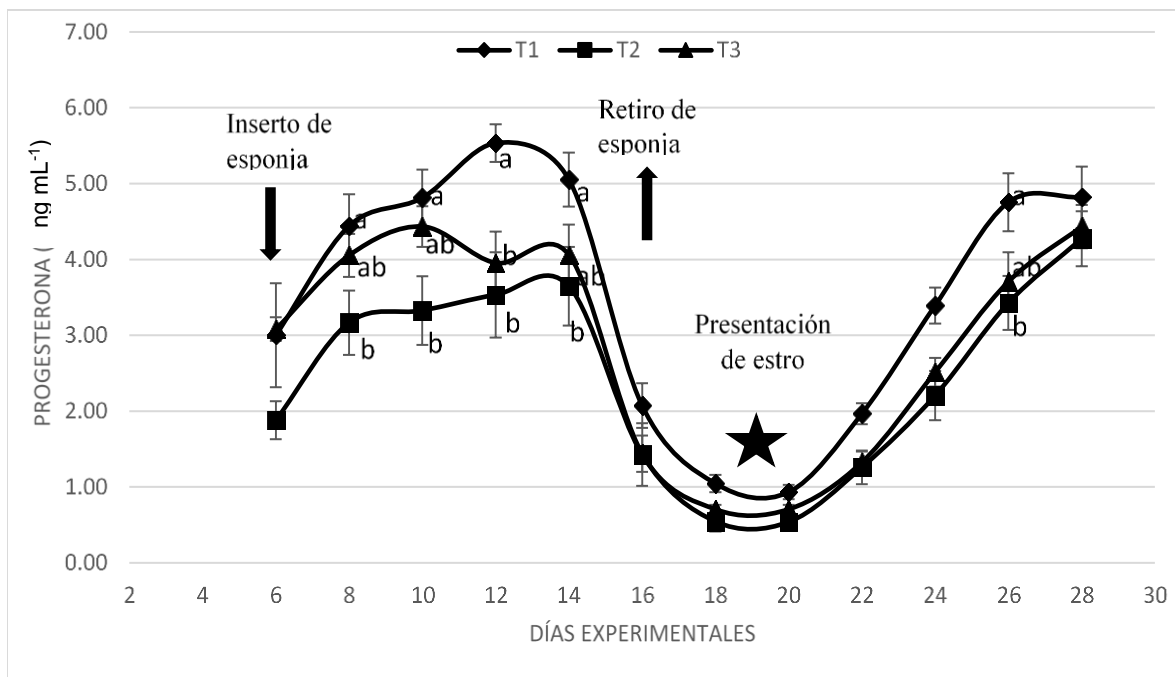


Figura 5. Concentración de progesterona (media \pm error estándar), en ovejas alimentadas con dieta testigo (T1) o dietas adicionadas con 4 g de colina herbal (T2) o 4 g CPR (T3)

a,b,c valores con distinta literal son diferentes ($P > 0.05$).

7.4 Concentraciones de insulina en suero sanguíneo

La adición de colina herbal y CPR durante la sincronización del estro y días después de la monta, no modificó la concentración de insulina en suero sanguíneo de ovejas primíparas (Cuadro 5) esto puede deberse a que la relación entre insulina y la actividad

reproductiva en rumiantes es compleja y varía acorde a la etapa de su ciclo reproductivo, sexo, consumo y balance de energía, además del estado fisiológico del animal (Becú-Villalobos *et al.*, 2007; Garnsworthy *et al.*, 2009).

Radcliff *et al.* (2003) reportan que el eje somatotrópico que comprende la hormona de crecimiento (GH), el receptor de GH y el factor de crecimiento similar a la insulina-I (IGF-I) tiene un papel central en la regulación del reparto de nutrientes en diferentes etapas. Se ha documentado que la hormona de crecimiento (GH) ejerce un efecto supresor sobre la insulina, lo que reduce la síntesis y la secreción de insulina por parte del páncreas (Humblot *et al.*, 2008). Trabajos realizados en vacas Holstein multíparas que recibieron 50 y 100 g de CPR/vaca/día (9.4 y 18.8 g de cloruro de colina, respectivamente) en los últimos 21 días de gestación y los primeros 45 días de lactancia se obtuvieron mayores concentraciones de insulina y haptoglobina con CPR (Leiva *et al.*, 2015). En otro estudio la concentración plasmática de insulina en vacas Holstein multíparas que recibieron 120 g de CPR (que equivalen a 30 g de cloruro de colina / vaca por día) 3 semanas antes y 3 semanas después del parto la insulina no mostró diferencias (Shahsavari, 2012).

Cuadro 5. Concentración de insulina y progesterona (P₄) (media ± error estándar), en ovejas alimentadas con dietas suplementadas con colina

Concentración Hormonas (ng/mL ⁻¹)	Tratamientos		
	T1: Testigo (n=30)	T2: Colina herbal (n=31)	T3: CPR (n=31)
Insulina	0.64±0.08	0.55±0.08	0.58±0.08
P ₄	3.48±0.22 ^a	2.43±0.22 ^b	2.86±0.0.22 ^{ab}

T1 (testigo): Dieta base + 0 g oveja⁻¹; T2 (colina herbal): Dieta base + 4 g oveja⁻¹; T3 (CPR): Dieta base + 4 g ovejas⁻¹. ^{a,b} valores con distinta literal son diferentes entre filas (P>0.05).

7.5 Tipos de parto en ovejas primaras suplementadas con colina herbal y CPR

La adición de colina herbal y CPR durante el periodo de sincronización de estros y monta no influyó en el tipo de nacimiento de las crías (Cuadro 6), lo que contrasta con lo reportado por Habeeb *et al.* (2018) quienes observaron que cabras Zaraibi adultas disminuyeron el número de partos sencillos y el número de partos gemelares y trillizos se incrementaron al aumentar el nivel de CPR en la dieta.

La sincronización del estro es una herramienta en el manejo reproductivo de las ovejas para incrementar la productividad de los sistemas de producción ovina (De la Isla-Herrera *et al.*, 2010). La condición corporal (CC) depende de la alimentación del animal y puede modificar la foliculogénesis y la tasa ovulatoria (Viñoles *et al.*, 2002), lo que influye de forma directa en el tipo de parto. Las ovejas con CC alta muestran una tasa de ovulación superior que las que poseen una CC baja (De la Isla-Herrera *et al.*, 2010).

Cuadro 6. Tipo de parto (% nacimientos por tratamiento) en ovejas primaras suplementadas con dos fuentes de colina

Tipo parto	T1: Testigo (n=30)	T2: Colina herbal (n=31)	T3: CPR (n=31)
Sencillo	22/30 73.33	22/31 70.97	19/31 61.29
Doble	5/30 16.67	7/31 22.58	6/31 19.35
Triple	0/30 0	0/30 0	1/31 3.23
TOTAL	100	100	100
	χ^2		0.68

T1 (testigo): Dieta base + 0 g oveja⁻¹; T2 (colina herbal): Dieta base + 4 g oveja⁻¹; T3 (CPR): Dieta base + 4 g oveja⁻¹.

7.6 Porcentaje de gestación y prolificidad

El porcentaje de gestación fue similar en todos los tratamientos (Cuadro 4), aun cuando en el presente estudio no se presentaron diferencias significativas en esta variable. El índice de prolificidad no presentó diferencias atribuibles a la adición de ambas fuentes de colina en la dieta (Cuadro 3). El éxito de la gestación y del índice de prolificidad depende en gran manera de la condición corporal y el estado nutricional de la madre ya que estos son indicadores del bienestar animal que actúan sobre la eficiencia reproductiva (Das *et al.*, 2000); sin embargo, el tener animales con CC baja promueve alteraciones en la sensibilidad del endometrio al afectar distintas hormonas esteroideas, en los primeros días de gestación, esto modifica de forma negativa el ambiente uterino y por lo tanto, la sobrevivencia del embrión (Ainsworth, 1985). Estudios en vacas reportan (Guretzky *et al.*, 2006) que el grupo adicionado con CPR presentó mayor incidencia de partos gemelares ($p = 0.07$) en comparación con el grupo testigo, lo que coincide con lo reportado por Habeeb *et al.* (2018) quienes reportan un aumento en la incidencia de partos dobles y triples, al aumentar las dosis de CPR.

VIII. CONCLUSIONES

La inclusión de 4 gramos de dos fuentes de colina (herbal y colina protegida) durante el estro sincronizado no modificó las principales variables reproductivas en ovejas primiparas; sin embargo, disminuyó la concentración de P₄ en suero. La estabilidad de la concentración de insulina en suero se atribuye a un mejor estado metabólico, nutricional y corporal en todos los grupos. El porcentaje de gestación fue similar en todos los tratamientos, sin embargo, en el tipo de partos se mostró un incremento en partos dobles en grupos adicionados con las dos fuentes de colina a pesar de no existir diferencias significativas entre los tratamientos.

IX. LITERATURA CITADA

- Abecia, J. A., R. Forcada, O. Zúñiga, and J. A. Valares. 2002. The effect of progestagen treatment on sheep reproductive performance at different phases of the oestrous cycle. *Animal Research*, 51: 149-155.
- Acritopoulou, S., and W. Haresign. 1980. Response of ewes to a single injection of an analogue of PGF-2 α given at different stages of the oestrous cycle. *Journal of reproduction and fertility*, 58:1, 219-223.
- Ainsworth, L. 1985. Effects of norgestomet-implants and fluorogestone acetate-impregnated sponges on oestrous cycle length and luteal function of ewes. *Animal Reproduction Science*, 9(1): 63-73.
- Arteaga, C. 2008. Situación actual de la ovinocultura en México. México: AMCO II
- Ardalan, M., K. Rezayazdi, and M.D. Banadaky. 2010. Investigation on the effect of supplementing rumen protected forms of methionine and choline on health situation and reproductive performance of Holstein dairy cows. *Journal of Biological Sciences*, 12(1): 69-73.
- Ali, A. 2007. Effect of time of eCG administration of follicular response and reproductive performance of FGA treated Ossimi ewes. *Small Ruminant Research*, 72: 33-37.
- Álvarez, M.C., Rangel, S.R., Gutiérrez, F.O. y Apodaca, S.C. 1997. Sincronización de celos en ovejas criollas utilizando dos progestágenos (FGA y MAP). *Memorias del IX Congreso Nacional de Producción ovina*. Querétaro, Qro.
- Álvarez, R. L., and Q. L. A. Zarco. 2001. Los fenómenos de bioestimulación sexual en ovejas y cabras. *Revista Veterinaria México*, 32 (2): 117-129.
- Amiridis G.S., I. Valasi, I. Menegatos, C. Rekkas, P. Goulas, T. Papanikolaou, C. Deligiannis. 2005. Luteal stage dependence of pituitary response to gonadotrophin releasing hormone in cyclic dairy ewes subjected to synchronization of ovulation. *Reproduction, Fertility and Development*, 17(8): 769-774.

- Association of Official Agricultural Chemists. 1970. Official methods of analysis of the AOAC, 11 edition. Washington DC, (1015pp)
- Atkins, K. B., R. A. Erdman, and J. H. Vandersall. 1988. Dietary choline effects on milk yield and duodenal choline flow in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 71: 109-116.
- Baril, G., P. Brebion, and P. Chesné. 1993. Manuel de formation pratique pour la transplantation embryonnaire chez la brebis et la chèvre (Vol. 115). Food & Agriculture Org.
- Baldi, A., and L. Pinotti. 2006. Choline metabolism in high-producing dairy cows: Metabolic and nutritional basis. *Can. Journal of Animal Science*, 86: 207–212.
- Becú-Villalobos, D., I. García-Tornadú, G. Shroeder, E.E. Salado, G. Gagliostro, C. Delavaud, Y. Chilliard, and I. M. Lacau-Mengido. 2007. Effect of fat supplementation on leptin, insulin-like growth factor I, growth hormone, and insulin in cattle. *Canadian Journal of Veterinary Research*, 71: 218-225.
- Best, C.H., and M.E. Huntsman. 1932. The effects of the components of lecithine upon deposition of fat in the liver. *Journal of Physiology*, 10: 405-412.
- Bindel, D. J., J. S. Drouillard, E. C. Titgemeyer, R. H. Wessels, and C. A. Loest. 2000. Effects of ruminally protected choline and dietary fat on performance and blood metabolites of finishing heifers. *Journal of Animal Science*, 78: 2497-2503.
- Bó, G.A., G.P. Adams, R.A. Pierson, R.J. Mapletoft. 1995. Exogenous control of follicular wave emergence in cattle. *Theoriogenology*, 43:31-40.
- Boscos, C. M., F. C. Samartzi, S. Dellis, A. Rogge, A. Stefanakis, and E. Krambovitis. 2002. Use of progestagen-gonadotrophin treatments in estrus synchronization of sheep. *Theoriogenology*, 58: 1261-1272.
- Broad, T.E., and R.M. Dawson. 1976. Role of choline in the nutrition of the rumen protozoon *Entodinium caudatum*. *Journal of General Microbiology*, 92: 391-397.

- Bryant, T. C., J. D. Rivera, M. L. Galyean, G. C. Duff, D. M. Hallford, and T. H. Montgomery. 1999. Effects of dietary level of ruminally protected choline on performance and carcass characteristics of finishing beef steers and on growth and serum metabolites in lambs. *Journal of Animal Science*, 77: 2893-2903.
- Cardwell, B.E., G.Q. Fitch, and R.D. Geisert. 1998. Ultrasonic evaluation for the time of ovulation in ewes treated with norgestomet and norgestomet followed by pregnant mare's serum gonadotropin. *Journal of Animal Science*, 76, 2235-2238.
- Cognie, Y., and Y. Mauleon. 1989. Control de la reproducción en la oveja. En: Haresign, W. *Prod. Ovina*, 1ª Ed. AGT Editor, S.A. México, D.F. 397 pp.
- Cooke, R. F., N. Silva Del Rio, D. Z. Caraviello, S. J. Bertics, M. H. Ramos, and R. R. Grummer. 2007. Supplemental choline for prevention and alleviation of fatty liver in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 90:2413–2418.
- Córdova-Izquierdo, A. I., Córdova-Jiménez, M. S, Córdova-Jiménez, C. A, Guerra-Liera, J. E. 2008. Procedimientos para aumentar el potencial reproductivo en ovejas y cabras. *Revista Veterinaria*, 19 (1): 67-79.
- Cornejo De, M., J. A. López, S. Navarro, G. Patiño, and J. Pablo. 2000. Caracterización clínico-molecular de la enfermedad granulomatosa crónica autosómica recesiva causada por déficit de p47-phox. *Revista médica de Chile*, 128:5, 490-498.
- Cushman, R.A., M. F. Allan, L. A. Kuehn, W. M. Snelling, A.S. Cupp, and H.C. Freetly. 2009. Evaluation of antral follicle count and ovarian morphology in crossbred beef cows: investigation of influence of stage of the estrous cycle, age, and birth weight. *Journal of Animal Science*, 87: 1971-1980.
- Das, K. G., K. M. S. Naqui, R. Gulyani, R. S. Pareek, and P. J. Mittal. 2000. Effect of 2 doses of progesterone on estrus response and fertility in acycling crossbred Bharat Merino ewes in a semi-arid tropical environment. *Small Ruminant Research*, 37: 159-163.

- Dejarnette, J.M., R.B. House, W.H. Ayars, R.A. Wallace, and C.E. Marshall. 2004. Synchronization of estrus in postpartum beef cows and virgin heifers using combinations of melengestrol acetate, GnRH, and PGF_{2α}. *Journal of Animal Science*, 82:3, 867-877.
- De la Hueriga, J., and H. Popper. 1951. Urinary excretion of choline metabolites following choline administration in normals and patients with hepatobiliary diseases. *The Journal of clinical investigation*, 30:5, 463-470.
- De la Isla-Herrera G., J.R. Aké-López., A. Ayala Burgos, and A. González-Bulnes. 2010. Efecto de la condición corporal y la época del año sobre el ciclo estral, estro, desarrollo folicular y tasa ovulatoria en ovejas Pelibuey mantenidas en condiciones de trópico. *Veterinaria México*, 41: 167-175.
- Drackley, J. K., and J. B. Andersen. 2006. Splanchnic metabolism of long-chain fatty acids in ruminants. In *Ruminant physiology: Digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands, 199-224.
- Driancourt M. A., A. Gougean, D. Royere, y Thibaultc. 1993. ovarian function in reproduction in mammals and man. Editores. C. thibault, M.C. Levasseur, R.H.F. Hunter. Ellipses, Paris.
- Dogan, I., Z. Nur, U. Gunay, M. K. Soylu, and C. Sonmez. 2004. Comparison of fluorgestone and medroxyprogesterone intravaginal sponges for oestrus synchronization in Saanen does during the transition period. *South African Society for Animal Science*, 34 (1): 18-22.
- Dogan, I., and Z. Nur. 2006. Different estrous induction methods during the nonbreeding season in Kivircik ewes. *Veterinarni medicina-praha*, 51 (4): 133-138.
- Donkin, S.S. 2011. Rumen-protected choline. Department of Animal Sciences. Purdue University. http://www.extension.org/pages/26158/rumen-protected_choline.
- Elek, P., J.R. Newbold, T. Gaal, L. Wagner, and F. Husveth. 2008. Effects of rumen-protected choline supplementation on milk production and choline supply of periparturient dairy cows. *Animal*, 2(11): 1595-1601.

- El-Gendy, M. E., K. F. El-Riedy, H. S. Sakr, and H. M. Gaafar. 2012. Effect of rumen protected methionine and/or choline additives on productive performance of Zaraibi goats. *Nature and Science*, 10:10, 35-41.
- Erdman, R.A., R.D. Shaver, and J.H. Vandersall. 1984. Dietary choline for the lactating cow: possible effects on milk fat synthesis. *Journal of Dairy Science*, 67: 410-415.
- Erdman, R. A., and R. A. Sharma. 1991. Effect of dietary rumen-protected choline in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 74: 1641-1647.
- Evans, G., and T. J. Robinson. 1980. The control of fertility in sheep: endocrine and ovarian responses to progestagen-PMSG treatment in the breeding season and in anoestrus. *The Journal of Agricultural Science*, 94:1, 69-88.
- Evans, G., and D. T. Armstrong. 1984. Reduction of sperm transport in ewes by superovulation treatments. *Journal of Reproduction and Fertility*, 70:1, 47-53.
- FAOSTAT. 2014. Producción, Consumo, Comercio. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. <http://faostat.fao.org>, 12 de enero de 2018.
- Fukui, Y., D. Ishikawa, N. Ishida, M. Okada, R. Itagaki, and T. Ogiso. 1999. Comparison of fertility of estrous synchronized ewes with four different intravaginal devices during the breeding season. *Journal of Reproduction and Development*, 45: 337-343.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de geografía. Universidad Autónoma de México, D.F.p.27.
- Garnsworthy, P. C., A. A. Fouladi-Nashta, G. E. Mann, K. D. Sinclair, and R. Webb. 2009. Effect of dietary-induced changes in plasma insulin concentration during the early postpartum period on pregnancy rate in dairy cows. *Society for Reproduction and Fertility* 137: 759-768.
- Gelez, H., and C. Fabre-Nys, 2004. The “male effect” in sheep and goats: a review of the respective roles of the two olfactory systems. *Hormones and Behavior*, 46: 257-271.

- Godfrey, R. W., L. Gray, and J.R. Collins. 1995. Estrus synchronization of sheep in the tropics using either controlled internal drug release (CIDR) dispensers or prostaglandin F_{2α} (PGF). *Journal of Animal Science*, 73, 232.
- Godinez-Cruz, J., O. Cifuentes-López, J. Cayetano, H. Lee-Rangel, G. Mendoza, A. Vázquez, and A. Roque. 2015. Effect of choline inclusion on lamb performance and meat characteristics. *Journal of Animal Science*, 93: 766, Suppl 3.
- Guretzky, N.A.J., D.B. Carlson, J.E. Garrett, and J.K. Drackley. 2006. Lipid metabolite profiles and milk production for Holstein and jersey cows fed rumen protected choline during the periparturient period. *Journal of Dairy Science*, 89: 188-200.
- Habeeb, A. A., A. E. Gad, M. A. Atta, and M. M. Mustafa. 2018. Effect of adding different levels of rumen protected choline to the diet on productive and reproductive performance of female goats and growth of their kids from birthing to weaning. *Animal Science Journal*, 89:2, 348-358.
- Hafez, E. 1999. *Reproducción e Inseminación artificial en animales*. 6a ed. México, D.F. Ed. Interamericana, S.A. 247 p.
- Hackett, A. J., and H. A. Robertson. 1980. Effect of dose and time of injection of prostaglandin F_{2α} in cycling ewes. *Theriogenology*, 13:5, 347-351.
- Hammon, D.S., I.M. Evjen, T.R. Dhiman, J.P. Goff, and J.L. Walters, 2006. Neutrophil function and energy status in Holstein cows with uterine health disorders. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 113: 21–29.
- Herrera, H.L, S.D. Feldman, and Q.L. Zarco. 1990. Evaluación del efecto luteolítico de la prostaglandina F₂ alfa en diferentes días del ciclo estral de la borrega. *Revista Veterinaria México*, 21, 143-147.
- Hoeben, D., R. Heyneman, C. Burvenich, 1997. Elevated levels of b-hydroxybutyric acid in periparturient cows and in vitro effect on respiratory burst activity of bovine PMN's. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 58:2, 165–170.

- Humblot, P., B. Grimard, S. Freret, G. Charpigny, A. A. Ponter, H. Seegers, and C. Ponsart. 2008. Impact of energy balance on metabolic changes and reproductive tissues; consequences for ovarian activity and fertility in dairy and beef cattle. *Recent Advance in Animal Nutrition*. Nottingham University Press, Nottingham 1-14.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 2003. Nuevas biotecnologías reproductivas (en línea). [Consultado 23 de NOVIEMBRE 2016] Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/balcarce/info/documentos/ganaderia/bovinos/reproduccion/alberio.htm>
- Jáchle, W. 1995. Forty years of control of the oestrous Cycle in ruminants: Progress made, Unresolved problems and the potential impact of sperm encapsulation technology. *Sexto Curso Internacional de Reproducción Bovina* 28-35. Méx.
- Jayaprakash, G., M. Sathiyabarathi, M.A. Robert, and T. Tamilmani. 2016. Rumen-protected choline: A significance effect on dairy cattle nutrition. *Veterinary World*, 9, 837-841.
- Kridli, R. T., M. Q. Husein, H. A. Muhdi, and J. M. Al-Khazaleh. 2006. Reproductive performance of hormonally treated anestrous ewes. *Animal Reproduction Science*, 3 (3): 347352.
- Knights, M., T. D. Maze, P. J. Bridges, P. E. Lewis, and E. K. Inskip. 2001. Short-term treatment with a controlled internal drug releasing (CIDR) device and FSH to induce fertile estrus and increase prolificacy in anestrous ewes. *Theriogenology*, 55: 1181-1191.
- Klucinski, W., A. Degorski, E. Miernik-Degorska, S. Targowski, and A. Winnicka. 1988. Effect of ketone bodies on the phagocytic activity of bovine milk macrophages and polymorphonuclear leukocytes. *Zentralblatt für Veterinärmedizin Reihe A*, 35, 632–639.
- Kubsis, A., and S. Mookerjea. 1978. Choline. *Nutrition Reviews*, 36: 201-207.
- Kung, L., D.E. Putnam, and J.E. Garrett. 2003. Comparison of commercially available rumen-stable choline products. *Journal of Dairy Science*, 86(Suppl. 1): 275. (Abstr.)

- Leiva, T., R. F. Cooke, A. P. Brandao, R. S. Marques, and J. L. M. Vasconcelos. 2015. Effects of rumen-protected choline supplementation on metabolic and performance responses of transition dairy cows. *Journal of Animal Science*, 93:4, 1896-1904.
- Lessons, S., and J. D. Summers. 2001. *Scott's Nutrition of the chicken*. pp 303-311.
- Li, H., H. Wang, L. Yu, M. Wang, S. Liu, L. Sun, and Q. Chen. 2015. Effects of supplementation of rumen-protected choline on growth performance, meat quality and gene expression in longissimus dorsi muscle of lambs. *Archives of animal nutrition* 69:5, 340-350.
- Lima, F.S., M.F. Sa Filho, L.F. Greco, F. Susca, V.J. Magalhaes, J. Garrett, and J.E.P. Santos. 2007. Effects of feeding rumen-protected choline (RPC) on lactation and metabolism. *Journal of Dairy Science*, 90(Suppl. 1):174.
- McNatty, K. P., M. Gibb, C. Dobson, K. Ball, J. Coster, D. Heath, and D. C. Thurley. 1982. Preovulatory follicular development in sheep treated with PMSG and/or prostaglandin. *Journal of Reproduction and Fertility*, 65:1, 111-123.
- Martin, G.B., C.M. Oldham, Y. Cognie, and D.T. Pearce. 1986. The physiological responses of anovulatory ewes to the introduction of ramsa review. *Livestock Production Science*, 15: 219- 247.
- Mattioli, M., F. Conte, G. Galeati, and E. Seren. 1986. Effect of naloxone on plasma concentration of prolactin and LH in lactating sows. *Journal of Reproduction and Fertility*, 76: 167-173.
- Mc Donald, L.E. 1996. Patrones de reproducción en: endocrinología veterinaria y reproducción. Editado por Mc. Donald L.E. y Pineda, Interamericana Mc. Graw-Hill. México D. F. P. 337-387.
- Molina-Mendoza, P., T. S. Torres-Esqueda, E. O. García-Flores, A. Martínez-García, M. Cárdenas-León, J. Peralta-Ortiz, J. L. Cordero and M. E. Ortega-Cerrilla. 2005. Manipulación de la presencia del cuerpo lúteo en la sincronización de estro en ovejas Dorset. *Agrociencia*, 39:1, 11-18.

- Motlomelo, K. C., J. P. C. Greyling, and L. M. J. Schwalbach. 2002. Synchronisation of oestrus in goats: the use of different progestagen treatments. *Small Ruminant Research*, 45:1, 45-49.
- Mustafa, Q. H., M. M. Ababneh, and D. S. Abu-Ruman. 2007. The effects of short or long term FGA treatment with or without eCG on reproductive performance of ewes bred out-of-season. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2 (1): 23–28.
- Naqvi, S. M. K., R. Gulyani, and J. P. Mittal. 1998. Estrus synchronization response in Kheri ewes treated with prostaglandin F2 alpha. *Indian Journal of Animal Sciences*, 68:6, 564-565.
- Niswender, G. D., L. E. Reichert, A. R. Midgley, and A. V. Nalbandov. 1969. Radioimmunoassay for bovine and ovine luteinizing hormone. *Endocrinology* 84 (5): 1166-1173.
- NRC., 1994. Nutrient requirements of poultry. Ninth revised edition. National Academy Press.
- NRC., 1995. Nutrient requirements of laboratory animals. Fourth revised edition. National Academy Press.
- NRC., 1998. Nutrient requirements of swine. Tenth revised edition. National Academy Press.
- NRC., 2000. Nutrient requirements of beef cattle. Seventh revised edition. National Academy Press. Washington DC, USA.
- NRC., 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh revised edition. National Academy Press. Washington DC, USA.
- NRC., 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids. Seventh revised edition. National Academy Press. Washington DC, USA.
- Overton, T. R., and M. R. Waldron. 2004. Nutritional management of transition dairy cows: Strategies to optimize metabolic health. *Journal of Dairy Science*, 87 (E. Suppl.):E105-E119.

- Pearce, D.T., and C.M. Oldham. 1984. The ram effect, its mechanism and application to the management of sheep Review. In: *Reproduction in Sheep*. Lindsay, D.R. and Pearce, D.T. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, pp 26–34.
- Pearce, G.P., and C.M. Oldham. 1988. Importance of non-olfactory ram stimuli in mediating ram-induced ovulation in the ewe. *Journal of Reproduction and Fertility*, 84: 333- 339.
- Pinotti, L., A. Baldi, I. Politis, R. Rebucci, L. Sangalli, and V. Dell'Orto. 2003. Rumen protected choline administration to transition cows: Effects on milk production and vitamin E status. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 50: 18–21.
- Radcliff, R. P., B. L. McCormack, B. A. Crooker, and M. C. Lucy. 2003. Plasma Hormones and Expression of Growth Hormone Receptor and Insulin-Like Growth Factor-I mRNA in Hepatic Tissue of Periparturient Dairy Cows¹. *Journal of dairy science*, 86:12, 3920-3926.
- Rodríguez Blanquet, J. B. 2003. Métodos de uso de Prostaglandina F_{2α} para sincronizar celos y ovulaciones en bovinos para carne: una discusión crítica. *Agrociencia*, 7:1, 92-104.
- Rodríguez-Guerrero, V., A. C. Lizarazo, S. Ferraro, N. Suárez, L. A. Miranda, and G. D. Mendoza. 2018. Effect of herbal choline and rumen-protected methionine on lamb performance and blood metabolites. *South African Journal of Animal Science*, 48:3, 427-434.
- Rubianes E., T. Castro, S. Kmaid. 1998. Estrus response after a short progesterone priming in seasonally anestrous goats. *Theriogenology*, 49, 356-362.
- Russel, A. J. F., J. M. Doney, and R. G. Gunn. 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *Journal of Agricultural Science*, 72: 51-54.
- Safdarian M., M. Kafi, M. Hashemi. 2006. Reproductive performance of Karakul ewes following different oestrous synchronization treatment outside the natural breeding season. *South African Journal of Animal Science*, 36, 229-234.
- Sales, J., P. Homolka, and V. Koukolová. 2010. Effect of dietary rumen-protected choline on milk production of dairy cows: a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 93: 3746–3754.

- Santos, J. E. P., and F. S. Lima. 2007. Feeding rumen-protected choline to transition dairy cows. In Proceedings of the 20th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. pp. 149–160.
- SAS (Statistical Analysis System) Institute 2002 SAS/STAT. Computer Software. Release 9.00. SAS Institute Inc. Cary.
- Shahsavari, A. 2012. The metabolic and reproductive responses of lactating dairy cows to supplementation with choline. MPhil thesis, The University of Queensland, Gatton, Australia.
- Sharma, B. K., and R. A. Erdman. 1989a. In vitro degradation of choline from selected feedstuffs and choline supplements. *Journal of Dairy Science*, 72: 2771–2776.
- Sharma, B. K., and R. A. Erdman. 1989b. Effects of dietary and abomasally infused choline on milk production responses of lactating dairy cows. *The Journal of Nutrition*, 119: 248–254.
- Sharkey, S., R. J. Callan, R. Mortimer, C. Kimberling. 2001. Reproductive techniques in sheep. Review. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 17:2 435-455.
- SIAP, 2014. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. [En línea] Available at: www.siap.gob.mx [Último acceso: 14 -11- 2015].
- Skinner, D. C., T. G. Harris, and N. P. Evans. 2000. Duration and amplitude of the luteal phase progesterone increment times the estradiol-induced luteinizing hormone surge in ewes. *Biology of Reproduction*, 63: 1135-1142.
- Soltan, M.A., A.M. Mujalli, M.A. Mandour, and M.E. Abeer. 2012. Effect of dietary rumen protected methionine and/or choline supplementation of rumen fermentation characteristics and protective performance of early lactating cows. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(3): 221-230.
- Smith, R. F., and H. Dobson. 2002. Hormonal interactions within the hypothalamus and pituitary with respect to stress and reproduction in sheep. *Domestic Animal Endocrinology*, 23:1-2, 75-85.

- Tavčar-Kalcher, G., and A. Vengušt. 2007. Stability of vitamins in premixes. *Animal feed science and technology*, 132(1-2), 148-154.
- Pinotti, L., A. Baldi, I. Politis, R. Rebucci, L. Sangalli, and V. Dell'Orto. 2003. Rumen protected choline administration to transition cows: Effects on milk production and vitamin E status. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 50: 18–21.
- Piepenbrink, M.S. and T.R. Overton. 2003. Liver metabolism and production of cows fed increasing amounts of rumen protected choline during the periparturient period. *Journal of Dairy Science*, 86: 1722-1733.
- Ungerfeld, R., and E. Rubianes. 2002. Short term primings with different progestogen intravaginal devices (MAP, FGA and CIDR) for eCG-estrous induction in anestrus ewes. *Small Ruminant Research*, 46: 63-66.
- Urviola, M., V. Leyva, H. Huamán, and W. García. 2005. Manipulación de la ovulación del folículo dominante con prostaglandina en diferentes estadios del ciclo estral sobre las tasas reproductivas en ovinos Corriedale. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 16 (2): 103–113.
- Van Cleeff, J., F. J. Karsh, and V. Padmanabhan. 1998. Characterization of endocrine events during the peri-estrous period in ewe after estrous synchronization with controlled internal drug release (CIDR) device. *Domestic Animal Endocrinology*, 15 (1): 23-34.
- Viñoles, C., M. Forsberg, G. Banchemo, and E. Rubianes. 2000. Effect of long-term and short-term progestagen treatment on follicular development and pregnancy rate in cyclic ewes. *Theriogenology*, 55: 993-1004.
- Viñoles, G. C., M. Forsberg, G. Banchemo, and E. Rubianes. 2002. Ovarian follicular dynamics and endocrine profiles in Polwarth ewes with high and low body condition. *Animal Science*, 74:539-545.
- Walker, S.K., D.H. Smith, B. Godfrey, and R.F. Seaman. 1989. Time of ovulation in the South Australian Merino ewe following synchronization of estrus. 1. Variation within and between flocks. *Theriogenology*, 31: 545-553.

Wildeus, S. 2000. Conceptos actuales en sincronización de celo: ovejas y cabras. Revista de Ciencia Animal, 77: 1-14.

Willadson, S. M. 1979. Embryo Transplantation in sheep. in Management and diseases of sheep. Public. British Causal Common Wealth Agr. Bureau, Londres.

Zeisel, S. H., and M. Holmes-McNary. 2001. Choline. In: Handbook of Vitamins. Third ed., Marcel Dekker, Inc., New York, NY, pp- 513-528.

Zeisel, S.H., 2006. Choline: Critical role during fetal development and dietary requirements in adults. Annual Review of Nutrition, Vol.26, 229-250.

X. ANEXOS

Anexo 1. Base de datos SAS para la variable estro en ovejas primaras

```
data estro;
input animal estro tratamiento;
cards;
29 24 1
20 24 2
3 30 1
10 30 1
17 30 1
29 30 2
21 30 2
9 30 2
23 30 3
12 36 1
20 36 1
1 36 2
4 36 2
6 36 2
8 36 2
14 36 2
16 36 2
17 36 2
18 36 2
22 36 2
23 36 2
5 36 3
8 36 3
15 36 3
16 36 3
19 36 3
20 36 3
25 36 3
29 36 3
1 42 1
4 42 1
5 42 1
11 42 1
13 42 1
14 42 1
15 42 1
17 42 1
18 42 1
19 42 1
21 42 1
22 42 1
24 42 1
2 42 2
10 42 2
11 42 2
12 42 2
13 42 2
15 42 2
25 42 2
28 42 2
2 42 3
```

7	42	3
10	42	3
11	42	3
13	42	3
14	42	3
17	42	3
18	42	3
24	42	3
26	42	3
2	48	1
7	48	1
8	48	1
16	48	1
23	48	1
5	48	2
7	48	2
26	48	2
31	48	2
3	48	3
4	48	3
6	48	3
9	48	3
31	48	3
3	54	2
19	54	2
30	54	2
12	54	3
22	54	3
9	60	1
25	60	1
31	66	1
6	66	1
1	55	3
28	66	3
30	66	3
26	72	1

```
proc lifetest plots=(s);
time estro;
strata tratamiento;
run;
```

Anexo 2. Base de datos en SAS para la variable progesterona

```
DATA ISRAEL P4 DON;
OPTIONS NODATE;
INPUT ANIMAL TRAT CONCP4 DIA;
CARDS;
1 1 5.0 6
1 1 7.4 8
1 1 8.2 10
1 1 8.8 12
1 1 6.9 14
1 1 3.2 16
1 1 2.0 18
1 1 2.0 20
1 1 4.3 22
1 1 6.8 24
1 1 8.2 26
```


1	1	8.3	28
2	1	3.5	6
2	1	4.5	8
2	1	5.3	10
2	1	5.8	12
2	1	5.5	14
2	1	2.5	16
2	1	1.7	18
2	1	1.4	20
2	1	3.0	22
2	1	4.4	24
2	1	6.2	26
2	1	5.4	28
3	1	2.8	6
3	1	4.8	8
3	1	5.8	10
3	1	5.9	12
3	1	5.8	14
3	1	1.2	16
3	1	0.9	18
3	1	1.1	20
3	1	1.8	22
3	1	3.3	24
3	1	4.3	26
3	1	4.2	28
4	1	2.3	6
4	1	3.0	8
4	1	3.8	10
4	1	3.9	12
4	1	4.7	14
4	1	1.7	16
4	1	0.8	18
4	1	0.4	20
4	1	2.0	22
4	1	3.1	24
4	1	5.6	26
4	1	3.7	28
5	1	3.4	6
5	1	4.6	8
5	1	5.9	10
5	1	7.0	12
5	1	5.4	14
5	1	3.1	16
5	1	0.9	18
5	1	0.7	20
5	1	1.7	22
5	1	2.2	24
5	1	4.1	26
5	1	3.8	28
1	2	1.5	6
1	2	3.2	8
1	2	2.6	10
1	2	3.2	12
1	2	3.7	14
1	2	1.3	16
1	2	0.4	18
1	2	0.4	20

1	2	0.9	22
1	2	1.9	24
1	2	3.1	26
1	2	5.2	28
2	2	1.1	6
2	2	2.2	8
2	2	1.5	10
2	2	2.1	12
2	2	1.8	14
2	2	0.4	16
2	2	0.3	18
2	2	0.2	20
2	2	0.6	22
2	2	1.3	24
2	2	2.1	26
2	2	2.4	28
3	2	1.9	6
3	2	1.8	8
3	2	3.2	10
3	2	2.8	12
3	2	4.2	14
3	2	1.8	16
3	2	0.4	18
3	2	0.3	20
3	2	0.6	22
3	2	1.5	24
3	2	2.8	26
3	2	2.9	28
4	2	1.8	6
4	2	3.0	8
4	2	3.3	10
4	2	3.0	12
4	2	3.9	14
4	2	1.8	16
4	2	0.6	18
4	2	0.5	20
4	2	0.9	22
4	2	1.5	24
4	2	2.7	26
4	2	4.7	28
5	2	2.3	6
5	2	3.7	8
5	2	3.8	10
5	2	3.9	12
5	2	4.7	14
5	2	0.6	16
5	2	0.2	18
5	2	0.5	20
5	2	0.7	22
5	2	1.1	24
5	2	1.8	26
5	2	4.2	28
1	3	1.6	6
1	3	1.7	8
1	3	3.7	10
1	3	3.2	12
1	3	2.3	14

1	3	1.5	16
1	3	0.3	18
1	3	0.5	20
1	3	1.0	22
1	3	1.7	24
1	3	2.3	26
1	3	2.7	28
2	3	1.6	6
2	3	3.8	8
2	3	4.2	10
2	3	3.6	12
2	3	5.6	14
2	3	0.9	16
2	3	0.1	18
2	3	0.1	20
2	3	0.8	22
2	3	2.7	24
2	3	5.3	26
2	3	6.3	28
3	3	4.1	6
3	3	8.1	8
3	3	7.2	10
3	3	5.2	12
3	3	4.6	14
3	3	0.3	16
3	3	0.1	18
3	3	0.2	20
3	3	0.2	22
3	3	0.8	24
3	3	2.3	26
3	3	4.1	28
4	3	1.3	6
4	3	1.9	8
4	3	2.5	10
4	3	3.5	12
4	3	4.9	14
4	3	0.9	16
4	3	0.4	18
4	3	0.2	20
4	3	0.8	22
4	3	1.3	24
4	3	1.3	26
4	3	2.2	28
5	3	2.4	6
5	3	3.8	8
5	3	5.0	10
5	3	2.3	12
5	3	2.7	14
5	3	1.4	16
5	3	1.3	18
5	3	1.1	20
5	3	2.2	22
5	3	4.0	24
5	3	5.2	26
5	3	5.6	28

```

PROC MIXED;
CLASS ANIMAL TRAT DIA;

```

```

MODEL CONCP4= TRAT ANIMAL (TRAT) DIA DIA*TRAT;
LSMEANS DIA TRAT DIA*TRAT/PDIFF ADJUST=TUKEY SLICE=DIA;
RUN;
/*PROC MIXED;
CLASS ANIMAL TRAT DIA;
MODEL CONCP4= TRAT ANIMAL (TRAT) DIA DIA*TRAT;
REPEATED DIA/SUB=ANIMAL (TRAT) TYPE= AR(1);
LSMEANS DIA TRAT DIA*TRAT/PDIFF ADJUST=TUKEY SLICE=DIA;
RUN;*/
/*PROC MIXED;
CLASS ANIMAL TRAT DIA;
MODEL CONCP4= TRAT ANIMAL DIA DIA*TRAT;
RANDOM ANIMAL (TRAT);
REPEATED DIA/SUB=ANIMAL (TRAT) TYPE= AR(1);
LSMEANS DIA TRAT DIA*TRAT/PDIFF ADJUST=TUKEY SLICE=DIA;
RUN;*/
PROC GLM;
CLASS ANIMAL TRAT DIA;
MODEL CONCP4=TRAT ANIMAL (TRAT) DIA DIA*TRAT;
TEST h=TRAT e=ANIMAL (TRAT);
MEANS TRAT/duncan e=ANIMAL (TRAT);
MEANS DIA/TUKEY;
LSMEANS TRAT/STDERR e=ANIMAL (TRAT);
LSMEANS DIA TRAT*DIA/STDERR;
RUN;

```