

# Efecto del nivel de suplementación con propilenglicol durante el período de transición a la lactancia sobre actividad ovárica y desempeño reproductivo en vacas Holstein<sup>1</sup>

Sandra Marcela Castro Ruiz<sup>2</sup>, Rubén Darío Galvis Góez<sup>3</sup>, Albeiro López Herrera<sup>4</sup>, John Jairo Giraldo Giraldo<sup>5</sup>

## Resumen

**Introducción.** Esta investigación se enfoca en estudiar la inclusión del propilenglicol (PG) como compuesto energético y su posible efecto en la disminución del balance energético negativo. **Objetivo.** Evaluar parámetros reproductivos, específicamente tasa de parto al primer servicio, días abiertos, primer calor observado, así como su efecto en la secreción de insulina y actividad ovárica. **Materiales y métodos.** Veinte (20) vacas Holstein fueron asignadas a uno de cuatro niveles de suplementación: 0, 300, 500 y 700 g de PG / día mezclados en el concentrado, desde el día 10 antes del parto el día 20 posparto. Se tomaron muestras de sangre los días 10 y 5 antes del parto, el día del parto y los días 5, 10, 15 y 20 posparto para determinar la concentración de insulina, y se realizaron exámenes ultrasonográficos para determinar actividad ovárica. Todos los datos para la evaluación de los parámetros reproductivos

fueron tomados diariamente observando los animales 30 minutos en la mañana y 30 minutos en la tarde, y prestando atención en la presentación de calores. **Resultados.** No se observaron diferencias significativas para las variables estudiadas con los diferentes tratamientos ( $p > 0,05$ ). El análisis de contrastes octogonales mostró una tendencia en la disminución de los días abiertos cuando se incluyó una dosis de 500 g de propilenglicol. **Conclusión.** La inclusión de propilenglicol no tuvo efecto significativo sobre la secreción de insulina, ni sobre el número y tamaño de los folículos preovulatorios ( $p > 0,05$ ). Es muy probable que el modo de suministro de propilenglicol y el tiempo de colecta de las muestras de sangre influyeran en la identificación del pico de secreción de insulina.

**Palabras clave:** fertilidad, infiltración hepática, parámetros reproductivos.

- 1 Artículo derivado del Proyecto de investigación: Efecto del nivel de suplementación con Propilenglicol durante el periodo de transición a la lactancia sobre actividad ovárica, salud uterina y desempeño reproductivo en vacas Holstein, desarrollado entre 2012-2014 y financiado por la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y la Corporación Universitaria Lasallista.
- 2 Zootecnista, magíster en Ciencias Agrarias, doctora en Ciencias Agrarias. Grupo de Investigación en Interacciones Nutricionales, Metabólicas y Reproductivas en Bovinos, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. ORCID 0000-0002-2655-824
- 3 Zootecnista, magíster en Ciencias Básicas Biomédicas, doctor en Ciencias Agrarias. Profesor asociado, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Grupo de Investigación en Interacciones Nutricionales, Metabólicas y Reproductivas en Bovinos, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. ORCID 0000-0001-5870-8739
- 4 Médico veterinario, zootecnista, magíster en Ciencias Básicas Biomédicas, doctor en Ciencias Básicas Biomédicas, posdoctor en Microbiología e Inmunología. Profesor titular, Departamento de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Grupo de Investigación en Biotecnología y Genética Molecular BIOGEM, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. ORCID 0000-0003-1444-3470
- 5 Zootecnista, especialista en Reproducción Bovina, magíster en Ciencias-Biotecnología Animal. Profesor asociado, Programa de Zootecnia, Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias. Grupo de Producción, Desarrollo y Transformación Agropecuaria, Línea de Biotecnología Pecuaria BIPE, Corporación Universitaria Lasallista. ORCID 0000-0003-0991-2842

Autor para correspondencia: John Jairo Giraldo Giraldo, email: jogiraldo@lasallistadocentes.edu.co  
Artículo recibido: 22/12/2016; Artículo aprobado: 15/09/2017.

## Effect of supplementation level with propylene glycol during the transition period to lactation on ovarian activity and reproductive performance in Holstein cows

### Abstract

**Introduction.** This paper mainly focuses on the study of the inclusion of propylene glycol (PG) as energy compound and its possible effect on minimizing the negative energy balance. **Objective.** Evaluate on reproductive parameters, specifically on rates of calving to first service, days open, calving to first observed heat, as well as its effect on insulin secretion and ovarian activity. **Materials and Methods.** 20 Holstein cows were assigned to one of four supplementation levels: 0, 300, 500 and 700 grams of PG / day mixed in food, from day 10 prepartum and through day 20 postpartum. Blood samples were collected on 10 and 5 prepartum and days 0, 5, 10, 15 and 20 postpartum to determine the concentration of insulin were also done to determine transrectal ultrasound follicular growth and ovarian resumption. All data for the evaluation of reproductive parameters were taken from the day of delivery, making daily observations of animals 30 minutes in the morning and 30 minutes in the afternoon to record possible heat presented. **Results.** There were no significant differences for the variables within the different treatments ( $p > 0.05$ ), only a trend to decrease the open days when you include a dose of 500 g of propylene glycol with respect to the other groups. **Conclusions.** The inclusion of propylene glycol had no significant effect on insulin secretion, or the number and size of preovulatory follicles ( $p > 0.05$ ). It is very likely that the propylene supply mode and time of collection of blood samples affect the identification of the increase in insulin secretion.

**Key words:** fertility, Hepatic infiltration, reproductive parameters.

## Efeito do nível de suplementação com propileno glicol durante o período de transição para a lactação na atividade ovariana e desempenho reprodutivo em vacas Holstein

### Resumo

**Introdução.** Esta pesquisa centra-se no estudo da inclusão de propileno glicol (PG) como um composto energético e seu possível efeito na redução do balanço energético negativo. **Objetivo.** Avalie os parâmetros reprodutivos, especificamente a taxa de parto no primeiro serviço, dias abertos, primeiro calor observado, bem como seu efeito na secreção de insulina e na atividade ovariana. **Materiais e métodos.** 20 vacas Holstein foram atribuídas a um dos quatro níveis de suplementação: 0, 300, 500 e 700 g PG / dia misturados no concentrado, a partir do dia 10 antes da entrega no dia 20 pós-parto. As amostras de sangue foram tomadas nos dias 10 e 5 antes do parto, no dia da entrega e nos dias 5, 10, 15 e 20 pós-parto para determinar a concentração de insulina e os exames de ultra-som foram realizados para determinar a atividade do ovário. Todos os dados para a avaliação dos parâmetros reprodutivos foram tomados diariamente observando os animais 30 minutos pela manhã e 30 minutos à tarde prestando atenção na apresentação de cicatrizes. **Resultados.** Não foram observadas diferenças significativas nas variáveis estudadas com os diferentes tratamentos ( $p > 0,05$ ). A análise de construções octogonais mostrou tendência na diminuição dos dias abertos quando foi incluída uma dose de 500 gr de propileno glicol. **Conclusão.** A inclusão de propileno glicol não teve efeito significativo na secreção de insulina, nem no número e tamanho dos folículos pré-ovulatórios ( $p > 0,05$ ). É muito provável que o modo de entrega de propileno glicol e o tempo de coleta das amostras de sangue influenciem a identificação da secreção máxima de insulina.

**Palavras chaves:** fertilidade, infiltração hepática, parâmetros reprodutivos.

---

## Introducción

El período de transición es considerado como aquel lapso que transcurre desde tres semanas antes del parto hasta tres o cuatro semanas luego del parto (Stalling, 1999). Este es un período caracterizado por modificaciones dramáticas en el estado endocrino de las vacas, que las prepara para el

parto y la lactogénesis (National Research Council, 2001). Como resultado de la intensa selección genética, la producción de leche se ha incrementado marcadamente, lo que ha originado un aumento en las demandas nutricionales y metabólicas de estos animales. Después del parto, durante el período de alta producción lechera y déficit energético, el útero, los ovarios y el eje hipotálamo-hipófisis deben

restablecer su actividad. En este período se esperan la maduración hormonal del eje hipotálamo-hipófisis, cambios morfológicos e histológicos en el útero y el establecimiento de la nueva población folicular en el ovario que conducirá a la primera ovulación. Es así como varios mecanismos biológicos interactúan en este período y muchas veces pueden resultar en incapacidad para adaptarse eficazmente a la lactancia; mecanismos biológicos como adaptación metabólica, el estrés oxidativo, la función inmune y la capacidad de ingesta de alimento se pueden ver afectados por el balance energético negativo por el cual los animales transitan (Ariette *et al.*, 2014).

El estado nutricional y metabólico tiene relación con el eje reproductivo y el eje somatotrópico en varios niveles. Cambios en la dieta pueden inducir respuestas rápidas en los niveles de metabolitos y hormonas con un papel importante en la regulación del crecimiento folicular (Gong, Lee, Garnsworthy, y Webb, 2002; Holtenius, Agena, Delavaud y Chilliard, 2003; Lucy, 2008).

Los niveles bajos de glucosa e insulina durante la lactancia temprana no son compatibles con la actividad ovárica, debido a que la glucosa es el principal sustrato energético en el ovario bovino y está relacionado directamente con las concentraciones del factor de crecimiento similar a la insulina 1 (IGF-I). Esta proteína también es considerada como una hormona metabólica que se une a los receptores de insulina y tiene un papel clave en el metabolismo de la glucosa en vacas lecheras de alta producción (Lucy, Escalante y Keisler, 2013). La disminución en la secreción de IGF-I causada por NEB podría alterar la producción ovárica de estradiol folicular, suprimiendo así la expresión del estro (Spicer *et al.*, 1990).

Factores metabólicos como la insulina, la hormona del crecimiento (GH) y IGF-1 juegan un rol importante en el proceso de desarrollo y crecimiento folicular. Estos factores están asociados no solo con el desarrollo folicular, sino también con la función de las células foliculares (Shimizu, 2016). Estudios *in vitro* con inclusión de insulina en fragmentos de tejido hipotalámico de hembras de rata adulta ovariectomizadas han demostrado un aumento de la liberación de GnRH en respuesta a la insulina (Arias, Rodríguez, Szwarcfarb, Sinay y Moguilevsky, 1992). Adicionalmente, estudios en ovejas diabéticas han demostrado la necesidad de la insulina para la secreción pulsátil de LH (Bucholtz, Chiesa, Pappano, Nagatani, Tsukamura, Maeda y Foster, 2000).

Hay varios estudios que reportan la inclusión de compuestos de tipo energético lo que favorece el aumento de las concentraciones de insulina plasmática. Chung *et al.* (2009) mostraron que la

concentración de insulina aumenta en respuesta a la suplementación con PG. Asimismo, otros autores evaluaron la inclusión de 500 mL de PG en vacas del día 7 al 42 de lactancia, obteniendo resultados positivos en cuanto al incremento en las concentraciones de insulina plasmática (Miyoshi, Pate y Palmquist, 2001).

El propilenglicol (PG) (1-2 propanodiol) es una molécula de 3 carbonos (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>) derivada del propileno. Cuando este se fermenta en el rumen se ha demostrado que disminuye la relación de acetato: propionato, lo que resulta en un patrón ruminal de ácidos grasos volátiles más glucogénicos, mientras que el pH por lo general no se ve afectado (Nielsen y Ingvarsen, 2004). Basados en la información anterior es lógico pensar que la suplementación con PG conduzca a un aumento en la cantidad de insulina disponible para todos los tejidos, incluyendo el ovario, lo que permitirá un reinicio temprano de la actividad ovárica posparto y una mejora en el desempeño reproductivo en estos animales.

## Materiales y métodos

El trabajo experimental se realizó en la Estación Agraria Paysandú, propiedad de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, ubicada a 2400 m. s. n. m., con una temperatura promedio de 14 °C y una humedad relativa promedio de 80 % en una formación ecológica de bosque muy húmedo, montano bajo (bmh-MB), según la clasificación de Holdridge (Holdridge, 1972). Se seleccionaron 20 vacas Holstein que estaban entre la segunda y la sexta lactancia y que se encontraban a 10 días de la fecha esperada del parto. Los animales pastorearon en praderas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), sometidas al manejo tradicional con fertilización compuesta, y recibieron suplementación alimenticia con concentrado comercial acorde con su nivel de producción; quiere decir que por cada cuatro litros de leche producidos consumen un kilo de concentrado (relación 4:1). Las vacas se asignaron al azar a uno de los siguientes grupos de acuerdo con la suplementación con propilenglicol: grupo control (T0): sin inclusión de propilenglicol; grupo experimental (T1): 300 gramos por día de propilenglicol; grupo experimental (T2): 500 gramos por día de propilenglicol; grupo experimental (T3): 700 gramos por día de propilenglicol. En todos los casos el propilenglicol fue mezclado con el suplemento alimenticio y fue suministrado dos veces al día durante los dos ordeños, durante 10 días previos a la fecha esperada de parto y hasta los 20 días posparto. Los días 10 y 5 preparto, el día del parto y los días 5, 10, 15 y 20 posparto se obtuvieron muestras de sangre por punción de la vena yugular en tubos vacutainer® sin anticoagulante. Posterior a

la obtención, las muestras se centrifugaron a 1500 gravedades por 15 min, para la separación del suero, los cuales se conservaron a -20 °C hasta su análisis. Se cuantificaron las concentraciones de insulina por el método ELISA con el kit AccuBind Elisa Microwells (Monobind Inc.), y utilizando un lector de placas Multiskan Spectrum, Termos-cientific. Los días 5, 10, 15 y 20 posparto se determinó la actividad ovárica por ultrasonografía utilizando un ecógrafo de tiempo real y modo B (Pie Medical 240 Parus Vet), dotado con una sonda transrectal de doble frecuencia 6,0/8,0 MHz, siguiendo las recomendaciones de Pierson *et al.* (1988). Los folículos fueron definidos como estructuras esféricas no ecogénicas (negras) con una clara demarcación entre la pared y el antro folicular. El cuerpo lúteo fue definido como una estructura granulosa ecogénica con un borde bien definido con un estroma ovárico menos ecogénico. Se contó el número de folículos mayores a 2 mm, se midió el diámetro del cuerpo lúteo utilizando el caliper propio de la máquina. La reactivación ovárica se definió como la presencia de un folículo y / o un cuerpo mayor a 8 mm de diámetro (Risco *et al.*, 1994).

Se realizó un análisis de medidas repetidas en el tiempo (4 tratamientos [0 PG / día, 300 PG / día, 500 mL PG / día y 700 mL PG / día] por 7 tiempos diferentes respecto al parto [-10, -5, 0, 5, 10, 15, 20 días), usando PROC MIXED de SAS (SAS, 2000). Se aceptaron diferencias estadísticamente significativas cuando  $p < 0.05$ . Para los parámetros reproductivos

días abiertos e intervalo parto primer calor, se realizó un análisis de varianza usando datos transformados; esto con el objetivo de satisfacer los supuestos de las técnicas inferenciales; además, se realizaron contrastes entre tratamientos. Los datos fueron sometidos a transformación logarítmica para que la distribución de los residuales se aproximara a la normal. Se evaluó normalidad usando la prueba de Shapiro Wilk.

## Resultados

### Concentraciones de insulina

Las concentraciones promedio de insulina oscilaron entre 3.3 y 5.7  $\mu\text{UI} / \text{mL}$ . Las concentraciones séricas de insulina no se afectaron significativamente con el nivel de inclusión de propilenglicol (tabla 1). El promedio aritmético más alto se observó con 700 g de PG. Estos valores están acordes con lo reportado por otros autores. Galvis *et al.* (2003) reportaron cantidades de insulina plasmática de alrededor de 3.5 y 4.56  $\mu\text{UI} / \text{mL}$  entre 12 días antes del parto hasta el día 24 posparto; estos mismos autores no encontraron diferencias entre periodos de muestreo. Por su parte, Kaneko (1997) reportó valores normales en ganado bovino entre 0 y 5  $\mu\text{UI} / \text{mL}$  lo que indica que los valores encontrados en esta investigación están acordes con los reportados por estos autores.

**Tabla 1. Concentración de insulina, diámetro folicular y número de folículos en función de la suplementación con Propilenglicol (PG)**

Tratamiento g PG / día	Conc. Insulina $\mu\text{UI}/\text{mL}$	Diámetro folicular mm	N.º Folículos
0	4,0 a	8.7 a	2.4 a
300	3,6 a	9.7 a	2.6 a
500	3,3 a	9.0 a	2.5 a
700	5,7 a	8.9 a	2.8 a
p *	0.36	0.37	0.22

\* probabilidad de cometer el error tipo I  
 Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre medias a  $p < 0.05$

Fuente: elaboración propia usando PROC MIXED de SAS versión 8.1

### Número y tamaño de folículos

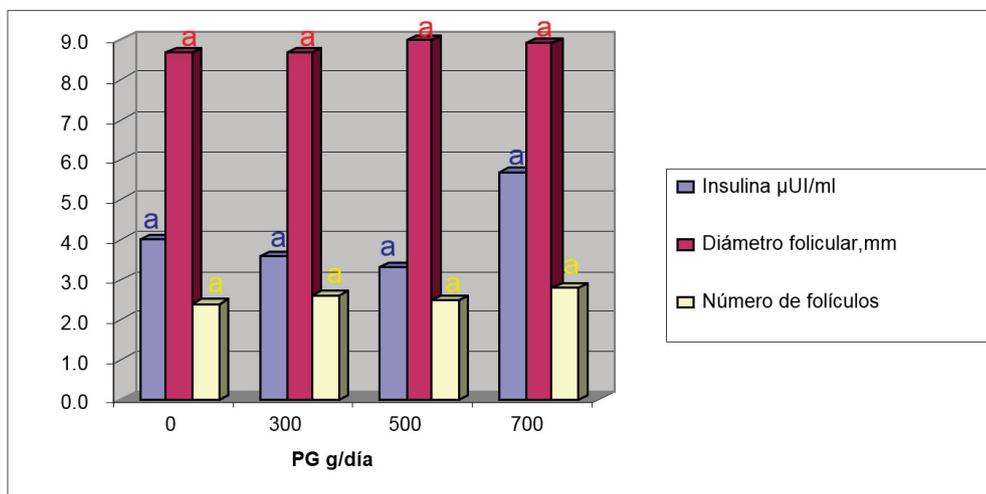
El número de folículos y el diámetro folicular no presentaron diferencias significativas para los diferentes tratamientos (figura 1). Todos los folículos hallados tenían un diámetro entre 8 y 9 mm. Estos resultados no coinciden con los reportados por Galvis *et al.* (2007), quienes encontraron una mayor presencia de folículos menores a 6 mm en relación

con los folículos mayores a 6 mm entre el día 10 y 20 posparto en vacas bajo condiciones similares de producción, pero en animales no suplementados con PG. En cuanto al número de folículos, los promedios oscilaron entre 2.4 y 2.8 folículos por período de muestreo (tabla 2). Estos datos son superiores a los encontrados por Galvis *et al.* (2007), quienes reportaron valores entre 1.1 a 1.7 folículos entre 6 y 9 mm, para los días 10 y 20 posparto, respectivamente.

No se observaron folículos menores a 6 mm. Una explicación para esta situación radica en la dinámica folicular típica a los 20 días posteriores al parto; es así como Lucy *et al.* (1991) realizaron un seguimiento por ultrasonografía a los 7, 16, 18, 20, 22 y 25 días posparto en 52 vacas, y encontraron que antes del

día 25 el número promedio de folículos pequeños (3-5 mm) disminuyó, mientras que el número promedio de folículos de tamaño medio (6-9 mm) aumentó significativamente ( $p < 0.01$ ) a medida que transcurrían los días posparto.

**Figura 1. Medias de la concentración de insulina plasmática, diámetro y número de folículos en vacas Holstein sometidas a diferentes niveles de suplementación con propilenglicol (PG)**



Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre medias a  $p < 0.05$

Fuente: elaboración propia, usando PROC MIXED de SAS versión 8.1

**Tabla 2. Diferencias entre medias por período de muestreo para las diferentes variables**

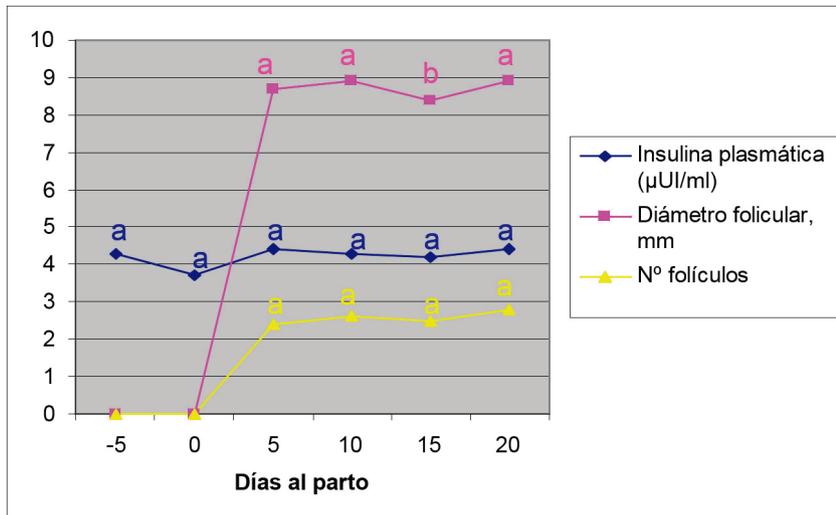
TIEMPO (días pre y posparto)	Concentración Insulina ( $\mu\text{UI/mL}$ )	Diámetro folicular (mm)	N.º folículos
- 5	4,3 a	-----	-----
Parto	3,7 a	-----	-----
5	4,4 a	8.7 a	2.4 a
10	4,3 a	8.9 a	2.6 a
15	4,2 a	8.4 b	2.5 a
20	4,4 a	8.9 a	2.8 a
p*	0.99	0.01	0.45

\* Probabilidad de cometer el error tipo I

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre medias a  $p < 0.05$

Fuente: elaboración propia, usando PROC MIXED de SAS versión 8.1

**Figura 2. Evolución de la concentración de insulina plasmática, diámetro y número de folículos de vacas Holstein en el periparto**



Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre medias a  $p < 0.05$

Fuente: elaboración propia, usando PROC MIXED de SAS versión 8.1

### Parámetros reproductivos

Los valores históricos de los parámetros reproductivos de los animales estudiados indican un intervalo parto al primer calor observado alrededor de 90 días, y unos días abiertos alrededor de 144 días (Evaluación reproductiva Interherd®, hato Paysandú 2008-2009). Según Hutchinson (2001), sería ideal que los días abiertos estén en menos de 110 días, y el intervalo parto primer calor observado, alrededor de 45 días. Lo anterior sugiere que el hato en estudio históricamente presenta parámetros reproductivos deficientes. Para cada uno de las variables evaluadas no se observaron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos (figura 3); se observó una tendencia a la disminución de los días abiertos para el grupo con inclusión de 500 g del compuesto, sugiriendo que puede haber un efecto benéfico sobre este parámetro (tabla 3).

**Tabla 3. Variables reproductivas en función de la suplementación con propilenglicol (PG)**

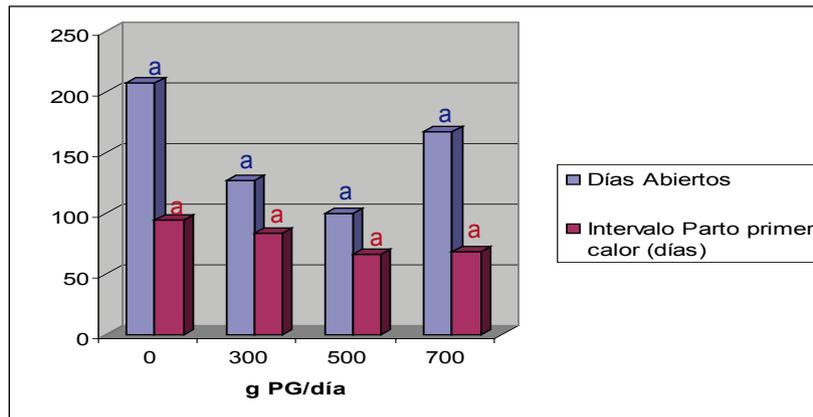
Tratamiento g PG / día	Días Abiertos (días)	Intervalo Parto primer calor (días)
0	208 a	95 a
300	127 a	84 a
500	100 a	66 a
700	167 a	69 a
p *	0.24	0.68

\*Probabilidad de cometer el error tipo I.

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre medias a  $p < 0.05$

Fuente: elaboración propia, usando PROC MIXED de SAS versión 8.1

**Figura 3. Medias para las variables reproductivas en función de la suplementación con propilenglicol (PG)**



Letras diferentes en la misma columna indican diferencias estadísticamente significativas entre medias a  $p < 0.05$

Fuente: elaboración propia, usando PROC MIXED de SAS versión 8.1

No se presentaron diferencias significativas en los parámetros reproductivos en función de la inclusión PG; sin embargo, se observó una tendencia leve ( $Pr > t = 0.1169$ ) a la disminución en los días abiertos cuando se suministró 500 g de PG por día (tabla 4).

**Tabla 4. Prueba de contraste para los parámetros reproductivos evaluados**

VARIABLE	PARAMETRO	Pr > t
Días abiertos	T2 Vs otros	0.1169
Intervalo Parto Primer Calor	T2 Vs otros	0.5652

Fuente: elaboración propia, usando PROC MIXED de SAS versión 8.1

## Discusión

En el período de transición a la lactancia las vacas lecheras pasan por un estado de desbalance de muchos nutrientes, pero el limitante principal es la energía, porque de ella dependen muchos procesos metabólicos, endocrinos y fisiológicos en los animales. En circunstancias normales estos animales sufren un balance energético negativo (BEN), una condición que afecta directamente la fisiología del animal y lo enfrenta a diferentes actividades de tipo catabólico, con las cuales responde a las necesidades propias de este período; con la suplementación de propilenglicol

(PG) se pretende minimizar los efectos adversos del BEN sobre el balance hormonal y la actividad ovárica de las vacas de alta producción lechera.

Un estudio hecho por Christensen *et al.* (1997) indica que las concentraciones plasmáticas de glucosa y de insulina alcanzaron su punto máximo en los primeros 90 minutos después de la administración vía oral de PG; estos resultados indican que es fácilmente disponible para la vaca y la mayoría del compuesto es rápidamente absorbido en el rumen y utilizado por el hígado para la gluconeogénesis.

Los diversos resultados obtenidos con la suplementación con PG pueden fundamentarse en lo anteriormente descrito; Miyoshi *et al.* (2001) y Grummer *et al.* (2004) midieron la insulina sérica dentro de las tres primeras horas luego de la administración de PG, mientras que otros autores tomaron la muestra más de 4 horas después (Rukkwamsuk *et al.*, 2005), tratando de identificar el pico de secreción de insulina. Los resultados obtenidos en esta investigación no coinciden con los obtenidos por Rukkwamsuk *et al.* (2005), ya que la metodología de la toma de muestra y el tiempo de medición no fueron similares.

La toma de muestra para insulina se realizó entre las 5 y 6 horas posteriores de la administración de PG, momento en el cual es muy probable que los valores de insulina plasmática hayan retornado a los valores basales en todos los tratamientos. Adicionalmente, es muy probable que las condiciones en las que se realizó esta investigación no sean favorables

al aumento de las concentraciones de insulina, presentación del BEN en los animales, propio del período de transición y que, a su vez, está asociado con presentación de bajas concentraciones de IGF-I, así como concentraciones de diferentes hormonas (Cortisol, leptina, hormonas tiroideas) que influyen en el metabolismo y pueden afectar la adaptación al BEN (Wathes *et al.*, 2011).

Por otro lado, en el período de transición, disminuyen de manera significativa las concentraciones de insulina a la par que aumenta la secreción de somatotropina (Holtenius, Agena, Delavaud y Chilliard, 2003). La relación entre estas dos hormonas antagónicas hace que sea difícil obtener respuestas significativas en la secreción de insulina y más aún en la respuesta de los tejidos periféricos (Rhoads, Kim, Leury, Baumgard, Seagoale, Frank, Bauman, Boisclair, 2004). Adicionalmente, las condiciones dietarias prevalentes en los sistemas de producción lechera especializada, en el trópico alto colombiano, aumentan la magnitud del BEN característico del período de transición a la lactancia, lo que, seguramente, limita la capacidad de secreción de insulina en los animales sujetos a estas condiciones. Galvis, Correa, Ramirez & Soler (2003), encuentran que, bajo condiciones similares a las hubo en este experimento, y con el mismo tipo de animales, el balance de energía al día 12 posparto osciló entre -20 y -35 % de los requerimientos, mientras que en otra investigación, bajo condiciones similares, los valores de BEN oscilaron entre -10 y -25 % de los requerimientos, al día 10 posparto (Galvis, Correa, Ramírez, y Soler, 2003). Si bien en esta investigación no se determinó el balance energético, los reportes anteriores, permiten inferir que los animales presentaron balances energéticos negativos de magnitud limitante para la obtención de respuestas fisiológicas favorables a la suplementación con PG. Al respecto, Chung *et al.*, (2009), encontraron que la respuesta en la secreción de insulina plasmática, se vio afectada por la cantidad de propionato que escapa a la captura hepática y es capturado por el páncreas.

Esta cantidad de propionato depende de la cantidad de PG suministrado y de la cantidad de propionato generado en la fermentación ruminal. Estos resultados están acordes con los de Grummer *et al.*, (2004), que indican que el PG produce un pico de secreción de insulina anterior al de secreción de glucosa, indicando que por sí solo, o a través de un metabolito derivado de él, como el propionato, estimulan la secreción de insulina. Desde luego la cantidad de propionato disponible para estimular significativamente la secreción de esta hormona depende de la cantidad de propionato generado en el rumen, el cual se produce en función directa de la cantidad de carbohidratos no estructurales en

la dieta, y como lo han indicado diversos autores, bajo las condiciones en las que se llevó a cabo esta investigación son el componente dietario más limitante (Correa, Pabón y Carulla, 2008). Esta condición ya fue informada en trabajos previos con PG; es así como Armentano *et al.*, (1984) reportan que la magnitud de la respuesta de la concentración de insulina en la sangre depende en gran medida de la cantidad de alimento ingerido.

Estudios realizados por Chung *et al.*, (2007), mostraron que la concentración de insulina aumentó en un 200 a 400 % a los 30 minutos posteriores a la administración del compuesto, usando dosis desde 307 hasta 1036 g. El momento de la toma de la muestra después de la administración de PG y la forma de administración puede afectar la concentración plasmática de insulina. Estos autores encontraron que la insulina plasmática fue mayor cuando se administró el PG en forma oral o intraruminal, comparado con la administración con la mezcla de la ración. Se puede sugerir que las principales condiciones para no encontrar aumento en los niveles de insulina plasmática en esta investigación son: la forma de suministro, ya que se dio mezclado con la ración; adicionalmente, las dosis utilizadas en la presente investigación fueron inferiores a las reportadas en la literatura como capaces de elevar significativamente las concentraciones plasmáticas de insulina.

Desde el punto de vista metabólico, la concentración puntual de un metabolito u hormona no siempre explica en forma satisfactoria las variaciones fisiológicas y / o productivas que pueden provocar en los animales. Muchos procesos fisiológicos responden a la estimulación acumulada de las señales metabólicas y / o endocrinas. Un ejemplo de esto fue reportado por Recabarren (1994), quien señala que se requieren altos niveles de insulina sostenidos en el tiempo para que, a nivel central, se estimule la producción y liberación de GnRH / LH. Para los animales de la presente investigación se puede inferir que la frecuencia del pulso de GnRH / LH, necesaria para generar folículos estereoidogénicamente competentes, fue adecuada (Haughian, Ginther, Kot y Wiltbank, 2004), lo que puede sugerir que el balance hormonal (incluyendo la secreción de insulina) fue favorable, dado el número y el tamaño de estructuras encontradas. Sin embargo, en la presente investigación no se observaron estructuras superiores a 9 mm, lo que pudo ser debido al corto período de tiempo en el que se realizó el seguimiento de la actividad ovárica posparto, lo que impidió determinar si a través del tiempo podrían encontrarse diferencias de las poblaciones foliculares entre los diferentes tratamientos, lo que es posible, dado que en las vacas lecheras la reactivación del ciclo estral ocurre durante las primeras semanas de

lactación con un intervalo a la primera ovulación variable (Risco, Drost, Thatcher, Savio & Thatcher, 1994). Estudios realizados con ultrasonografía (Lucy *et al.*, 1991) reportaron que durante la segunda semana los animales reinician su actividad ovárica y desarrollan folículos dominantes ovulatorios, no ovulatorios y quistes, originando diferentes intervalos para la primera ovulación, según la estructura que se desarrolle. Si el BEN es uno de los principales factores que altera la dinámica folicular, es de esperar que en la presente investigación haya tenido profundos efectos sobre la respuesta a la suplementación con PG, pues bajo las condiciones en las que se realizó este experimento (condiciones dietarias y días en lactancia) es de esperar BEN de magnitudes significativas, lo que seguramente afectó la respuesta del ovario a las diferentes hormonas, incluyendo la insulina.

Lucy *et al.* (2003) evaluaron el efecto de la suplementación con PG sobre el intervalo parto primer celo, sin encontrar efectos significativos. Contrariamente Formigoni *et al.* (1996) reportaron que al día 96 posparto una baja proporción de animales suplementados con PG fueron acíclicos en comparación con animales control; asimismo, Butler *et al.* (2006) administraron una dosis diaria de 518 g de PG que resultó en una disminución del intervalo a la primera ovulación posparto (32 *versus* 44 días); la primera fase luteal fue más larga en animales suplementados con PG (13.4 *versus* 7.3 días), reflejándose en una mejor función luteal. Por el contrario, la administración de la misma cantidad del compuesto en ganado lechero desde el día 10 antes del parto hasta el día 25 posparto no tuvo efecto significativo en la proporción de folículos preovulatorios, quísticos o atrésicos (Hutchinson, 2001), lo que pudo ser debido a las diferencias en el estado de lactancia en el que fue suministrado en la duración de la suplementación con PG.

## Conclusiones

El suministro de PG durante el período de transición a la lactancia no mostró evidencias que permitan concluir que su utilización favorezca significativamente el reinicio de la actividad ovárica posparto y el desempeño reproductivo de los animales. Respecto a su efecto sobre la secreción de insulina es necesario realizar otras investigaciones que centren sus objetivos en la dinámica de su secreción acorde con modo y tiempos de suministro.

## Referencias bibliográficas

Arias, P.; Rodríguez, M.; Szwarcfarb, B.; Sinay, IR & Moguilevsky, J. (1992). Effect of insulin on

LHRH release by perfused hypothalamic fragments. *Neuroendocrinology*, 56, 415–418.

Armentano, L.; Mills, S.; DeBoer, G. & Young JW. (1984). Effects of feeding frequency on glucose concentration, glucoeturnover and insulin concentration in steers. *Journal Dairy Science*, 67, 1445–1451.

Bucholtz, D.; Chiesa, A.; Pappano, W.; Nagatani, S.; Tsukamura, H; Maeda, K & Foster, D. (2000). Regulation of pulsatile luteinizing hormone secretion by insulin in the diabetic male lamb. *Biology of Reproduction*, 62, 1248–1255.

Butler, S.; Pelton, S. & Butler W. (2006). Energy balance, metabolic status, and first postpartum ovarian follicle wave in cows administered propylene glycol. *Journal Dairy Science*, 89, 2938–2951.

Correa, H.; Pabón, M. & Carulla J. (2008). Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): II. Contenido de energía, consumo, producción y eficiencia nutricional. *Livestock Research for Rural Development*, 20. Recuperado de: <http://www.lrrd.org/lrrd20/4/corr20061.htm>.

Christensen, J.; Grummer, R.; Rasmussen, F. & Bertics, S. (1997). Effect of method of delivery of propylene glycol on plasma metabolites of feed-restricted cattle. *Journal Dairy Science*, 80, 563–568.

Chung, Y.; Rico, D.; Martínez, C.; Cassidy, T.; Noirot, V.; Ames, A. & Varga, G. (2007). Effects of feeding dry glycerin to early postpartum Holstein dairy cows on lactational performance and metabolic profiles. *Journal Dairy Science*, 90, 5682–5691.

Drackley, J.; Overton, T. & Douglas, G. (2001). Adaptations of Glucose and Long-Chain Fatty Acid Metabolism in Liver of Dairy Cows during the Periparturient Period. *Journal Dairy Science*, 84, 100–112

Formigoni, A.; Cornil, M.; Prandi, A.; Mordenti, A.; Rossi, A.; Portetelle, D. & Renaville, R. (1996). Effect of propylene glycol supplementation around parturition on milk yield, reproduction performance and some hormonal and metabolic characteristics in dairy cows. *Journal Dairy Research*, 63, 11–24.

- Galvis, R.; Correa, H. y Ramírez, N. (2003). Interacciones entre el balance nutricional, los indicadores del metabolismo energético y proteico y las concentraciones plasmáticas de Insulina, e IGF-1 en vacas en lactancia temprana. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias*, 16, 237-248.
- Galvis, R.; Múnera, E. & Marín, A. (2007). Influencia del mérito genético para la producción de leche en un hato Holstein sobre el balance energético, indicadores de metabolismo energético y la reactivación ovárica posparto. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20, 455-471.
- Galvis, R.; Correa, H.; Ramirez, N. & Soler, W. (2003). Influencia de las alteraciones hepáticas sobre la actividad PEPCK, IGF-I plasmático y la reactivación ovárica en la lactancia temprana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16, 228-236.
- Gong, J.; Lee, W.; Garnsworthy, P. & Webb, R. (2002). Effect of dietary-induced increases in circulating insulin concentrations during the early postpartum period reproductive function in dairy cows. *Reproduction*, 123, 419-427.
- Grummer, R.; Mashek, D. & Hayirli, A. (2004). Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Veterinarian Clinical Food Animal*, 20, 447-470.
- Haughian, J.; Ginther, O.; Kot, K. & Wiltbank, M. (2004). Relationships between FSH patterns and follicle dynamics and the temporal associations among hormones in natural and GnRH-induced gonadotropin surges in heifers. *Reproduction*, 127, 1-12.
- Holdidge, L. (1972). *Life zone ecology*. Tropical Science Center, rev edit san José Costa Rica.
- Holtenius, K.; Agena, S.; Delavaud, C. & Chilliard, Y. (2003). Effects of feeding intensity during the dry Period. 2. Metabolic and hormonal responses. *Journal Dairy Science*, 86, 883-889.
- Hutchinson, L. (2001). Reproductive Herd Health Program. Dairy Integrated Reproductive Management, *The Pennsylvania State University*.
- Kaneko, J.; Harvey, J. & Bruss, M. (1997). Clinical Biochemistry of Domestic Animals, Fifth Edition. Holanda: Elsevier.
- Lucy, M.; Escalante, R.; Keisler, D. (2013). Short communication: glucose infusion into early postpartum cows defines an upper physiological set point for blood glucose and causes rapid and reversible changes in blood hormones and metabolites. *J Dairy Sci*, 96, 5762-5768.
- Lucy, M. (2008). Functional differences in the growth-hormone and insulin-like growth factor axis in cattle and pigs: implications for post-partum nutrition and reproduction. *Reproduction. Domestic Animal*, 43, 31-39.
- Lucy, M. (2003). Mechanisms linking nutrition and reproduction in postpartum cows. *Reproduction Supplement*, 61, 415-427.
- Lucy, M.; Staples, C.; Michel, F. & Thatcher, W. (1991). Energy balance and size and number of ovarian follicles detected by ultrasonography in early postpartum dairy cows. *Journal Dairy Science*, 74, 473-482.
- Miyoshi, S.; Pate, J.; Palmquist, D. (2001). Effects of propylene glycol drenching on energy balance, plasma glucose, plasma insulin, ovarian function and conception in dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 68, 29-43.
- National Research Council. (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. *National Academy Press*. Washington, DC.
- Nielsen, N. & Ingvarsen, K. (2004). Propylene glycol for dairy cows: A review of the metabolism of propylene glycol and its effect of physiological parameters, feed intake, milk production and risk of ketosis. *Animal Food Science Technology*, 115, 191-213.
- Pierson, R.; Kaselic, J. & Ginther, O. (1988). Basic principles and techniques for transrectal ultrasonography in cattle and horses. *Theriogenology*, 29, 3-19.
- Recabarren, S. (1994). Influencias metabólicas en el control de la secreción de gonadotropinas y somatotropina. *Simposio Relaciones Endocrinas Metabólicas durante el Crecimiento y la Reproducción*. Chillán, Chile, 20-28.
- Rhoads, R.; Kim, J.; Leury, B.; Baumgard, L.; Seagoale, N.; Frank, S.; Bauman, D.; Boisclair, Y. (2004). Insulin increases the abundance of the growth hormone receptor in liver and adipose tissue of periparturient dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 134, 1020-1027.

- Risco, C.; Drost, M.; Thatcher, W.; Savio, J. & Thatcher, M. (1994). Effects of calving-related disorders on prostaglandin, calcium, ovarian activity and uterine involution in postpartum dairy cows. *Theriogenology*, 42, 183–203.
- Rukkamsuk, T.; Rungruangb, S.; Choothesaa, A. & Wensing, T. (2005). Effect of propylene glycol on fatty liver development and hepatic fructose 1,6 biphosphatase activity in periparturient dairy cows. *Livestock Production Science*, 95, 95–102.
- Shimizu, T. (2016). Molecular and cellular mechanisms for the regulation of ovarian follicular function in cows. *J Reprod Dev*, 62, 323–329.
- Spicer, L.; Tucker, W. y Adams, G. (1990). Insulin-Like Growth Factor-I in Dairy Cows: Relationships among Energy Balance, Body Condition, Ovarian Activity, and Estrous Behavior. *J Dairy Sci*, 73, 929-937.
- Stalling, C. (1999). Transition Cow Nutrition. Poceedings Virginia Tech. *Feed and Nutritional Management Cow College*. Recuperado de <http://www.dasc.vt.edu/nutritioncc/ccs99.pdf>.
- Statistical Analysis System (SAS). (2000), (Version 8.1) [Software], SAS Institute Inc., Cary.
- Van Kneysel, A.; Hammon, H.; Bernabucci, U.; Bertoni, G. Bruckmaier, R.; Goselink, R.; Gross, J.; Kuhla, B.; Metges, C. (2014). Metabolic adaptation during early lactation: key to cow health, longevity and a sustainable dairy production chain. *CAB Reviews*, 9(002), 1-15.
- Wathes, D.; Cheng, Z.; Fenwick, M.; Fitzpatrick, R. y Patton, J. (2011). Influence of energy balance on the somatotrophic axis and matrix metalloproteinase expression in the endometrium of the postpartum dairy cow. *Reproduction*, 141, 269–28.