

## ARTÍCULO CIENTÍFICO

Hernando Flórez Díaz<sup>1</sup>  
 Manuel Bernardo Alvarez Rico<sup>2+</sup>  
 Astrid Gutiérrez de Gerardino<sup>3</sup>

## ABSTRACT

*Gestation, calving and lactation effect on the hematic and hepatic function of Holstein cows in tropical conditions*

Specialized dairy cattle under tropical conditions present changes on physiology caused by environmental and handling aspects. These alterations of different functions affect the capacity to express genetic potential of production. The research, was carried out at savanna of Bogotá, Colombia, located at 2547 m above sea level, annual mean temperature 13°C, relative humidity 80 % and annual precipitation 685 mm. The study's main objective was to characterize the changes in hematic and hepatic functions of dairy cows during pregnancy, calving and lactation periods and under tropical highland conditions. Forty Holstein Friesian cows were included during their fifth, sixth, seventh and eight months of pregnancy, day of calving and weeks 1, 2, 3, 4, 8, 12, and 16 of lactation period. The results showed that hematocrit (HT), hemoglobin (HB), mean corpuscular volume (MCV) and mean corpuscle hemoglobin (MCH), presented significant changes ( $P < .05$ ) due to physiological fetal growth. During pregnancy and lactation, weight and concentration of hemoglobin of erythrocytes were higher than the values reported by literature, which could indicate a special mechanism of adaptation to the low concentration of atmospheric oxygen in the site of the study. On calving day, a significant increase of HT, HB, MCH, an aspartate aminotransferase (ASAT) and a significant decrease of total protein (TP) and globulins (GLOB) were observed ( $P < .05$ ), this can be ascribed to the calving stress and to proteins use for production of colostrum. At birth and at the beginning of lactation significant increases of ASAT were found ( $P < .05$ ), a change related to fatty degeneration in liver. Primiparous cows presented the lowest concentrations of TP, albumin (ALB), GLOB and urea, as the highest levels of MCV and MCH ( $p < .05$ ) pointing out different metabolic status in young animals.

The present information describes changes and metabolic adjustments for pregnancy, calving and lactation, of dairy cows. In this way, a change in liver functioning that compromises health status of postpartum cows was detected.

*Key words:*

Blood metabolites, transition phase, dairy cows, Savanna de Bogotá.

1. Programa Nacional de Ecofisiología y Nutrición Animal C.I. La Libertad. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, FAX 637571

2+. Instituto Colombiano Agropecuario ICA. FAX 3686241 + Fallecido 30 de agosto de 1994.

3. Programa Nacional de Biometría, Convenio CORPOICA. C.I. Tibaitatá, FAX.2828947

## RESUMEN

En condiciones tropicales, los bovinos especializados en producción de leche presentan cambios en su fisiología ocasionados por el ambiente y los sistemas de manejo. La alteración de diversas funciones afecta la capacidad de expresión del potencial genético de producción. Esta investigación se realizó en la Sabana de Bogotá, Colombia, ubicada a 2547 msnm, temperatura media 13°C, humedad relativa 80% y precipitación pluvial 685 mm año. El objetivo del trabajo fue caracterizar los cambios en la función hemática y hepática de vacas lecheras en los periodos de gestación, parto y lactancia en una zona tropical de altura. Se estudiaron 40 vacas Holstein Friesian, en el quinto, sexto, séptimo y octavo mes de gestación, el día del parto y las semanas 1, 2, 3, 4, 8, 12, y 16 de lactancia. Los resultados mostraron que en la gestación se presentan cambios significativos del hematocrito (HTO), hemoglobina (HB), volumen corpuscular medio (VCM) y hemoglobina corpuscular media (HCM) ( $P < .05$ ), como respuesta fisiológica al crecimiento fetal. Las vacas durante la gestación y la lactancia, mostraron mayor peso y concentración de hemoglobina en el eritrocito al reportado en la literatura, lo que puede indicar un mecanismo especial de adaptación a las bajas tensiones de oxígeno atmosférico de la zona de estudio. El día del parto se produjo aumento significativo del HTO, HB, HCM y aspartato aminotransferasa (ASAT) y disminución significativa de la Proteína Total (PT) y globulinas (GLOB) ( $P < .05$ ), modificaciones normales atribuidas al proceso de estrés del parto y a la pérdida de proteínas para la formación de colostro. Al parto e inicio de la lactancia se encontró aumento significativo de la actividad de la ASAT ( $P < .05$ ), situación relacionada con infiltración de grasa en el hígado. Las vacas de primer parto presentaron la concentración más baja de PT, albúmina (ALB), GLOB y urea y el mayor valor de VCM y HCM ( $P < .05$ ) indicando diferencias en el estado metabólico de animales jóvenes. La información presentada describe ajustes y cambios metabólicos importantes en la gestación, parto y lactancia de vacas lecheras en la Sabana de Bogotá. Así mismo, se encontró alteración de la función hepática, lo que puede comprometer el estado de salud de la vaca en el posparto.

*Palabras claves:* Metabolitos sanguíneos, fase de transición, vacas lecheras, Sabana de Bogotá.

## INTRODUCCIÓN

EXISTE interacción de los animales con el ambiente en el cual viven y el resultado de ésta interacción incide en la eficiencia de la producción (Yousef, 1985). Cuando bovinos desarrollados en zonas templadas como los de la raza Holstein, se someten a ambientes tropicales, éstos presentan cambios fisiológicos como consecuencia del nuevo ambiente (Johnson y Vanjonack, 1976), lo que puede afectar la expresión del potencial genético de producción. En Colombia los sistemas de producción bovina de leche, están restringidos a ciertos ecosistemas de altura como la Sabana de Bogotá (2000-3000 msnm), ambiente y condiciones climáticas a las cuales la raza Holstein se adapta bien (Ramírez et al., 1992; Cardozo et al., 1994).

En vacas lecheras los estados de gesta-

ción, parto y lactancia son productivos y presentan modificaciones metabólicas importantes en procura del desarrollo del feto, el nacimiento de la cría y el inicio y mantenimiento de la producción de leche (Bell, 1995). La utilización de nutrientes al final de la gestación es considerablemente alta, debido a que hay un rápido crecimiento no solo del feto, sino también de las membranas fetales, del útero grávido y de la glándula mamaria. Al final de la gestación se presentan modificaciones fisiológicas que se relacionan con el aumento del flujo sanguíneo uterino (Ferrel y Ford, 1980), incremento en el consumo de oxígeno por el feto, el útero y la placenta (Battaglia y Meschia, 1978; Ferrell et al., 1983) y por la utilización de aminoácidos (Jones y Rolph, 1985). A nivel metabólico

se presenta aumento de la gluconeogénesis hepática, (Herdt, 1988a; Bell, 1995); también aumenta la síntesis de proteína, disminuye el catabolismo hepático de aminoácidos y se presenta hipertrofia hepática moderada. (Campbell y Fell, 1970).

En contraste con la gestación, después del parto las modificaciones fisiológicas se incrementan en procura de iniciar y mantener la lactancia. La vaca entra en un estado de gran demanda de nutrientes en las primeras semanas posparto, que en animales de alta producción llega a ser de 7 kg/día de lípidos, 3 kg/día de glucosa, 330 g/día de aminoácidos y 7 g/día de calcio (Bauman y Currie, 1980; Mephram, 1982). Esto explica que se deban utilizar las reservas corporales para proveer los sustratos necesarios para la síntesis de leche. En el hígado aumenta el nivel de gluconeogénesis, glicogénesis y cetogénesis (Clark y Davis, 1983; Herdt, 1988a.). Se presenta movilización de proteínas y catabolismo de aminoácidos en el músculo (Chilliard et al., 1991), y en la glándula mamaria se incrementa la actividad de enzimas como: lipoproteína lipasa, acetil coA carboxilasa, sintetasa de ácidos grasos y lactosa sintetasa (Bauman et al., 1988). Estos estados productivos ocasionan modificaciones importantes en la concentración de los componentes sanguíneos. La incapacidad para regular estos cambios puede ocasionar problemas de salud en el posparto y así afectar la eficiencia de producción (Grum-

mer, 1995). Este comportamiento no se conoce completamente en vacas lecheras mantenidas en condiciones tropicales y de altura. El trabajo realizado tuvo por objeto caracterizar los cambios en la fisiología hemática y hepática de vacas Holstein de alta producción, al final de la gestación, el parto y la primera fase de lactancia en las condiciones de la Sabana de Bogotá, Colombia.

### Materiales y métodos

#### Ubicación y animales experimentales

La investigación se realizó en un hato comercial ubicado en la Sabana de Bogotá, a 2.547 msnm, temperatura media de 13°C, humedad relativa media de 80% y precipitación pluvial de 685 mm. De un total de 286 cabezas se seleccionaron, con base en registros de producción, 40 hembras Holstein Friesian clínicamente sanas y de primera a sexta lactancia, que se encontraban en el quinto mes de gestación.

#### Prácticas de alimentación y manejo

Las vacas se mantuvieron en praderas de pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), manejadas por pastoreo rotacional en franjas, mediante el uso de cerca eléctrica portátil. Se realizó suplementación con sal mineralizada a voluntad y se suministró concentrado comercial al momento del ordeño, según el nivel de producción de leche, hasta un máximo de 10 kg/día/animal. La Tabla 1 muestra los componen-

tes y el contenido de la ración utilizada, los requerimientos de vacas lecheras y el balance de nutrientes, según el aporte de la ración y el nivel promedio de producción de leche en el hato (NRC, 1988). Se realizó ordeño mecánico dos veces al día de 4 a 6 a.m. y de 3 a 5 p.m. y se llevaron a cabo controles periódicos de parásitos internos. El hato tenía historia de vacunaciones contra fiebre aftosa, brucelosis, diarrea viral bovina (DVB), rinotraqueitis infecciosa bovina (RIB) y parainfluenza (PI3). Diariamente se tomó información de la producción de leche por vaca y se registraron los eventos relacionados con la reproducción.

#### Protocolo de toma de información y colección de muestras sanguíneas

Las evaluaciones se realizaron mensualmente durante la gestación, el quinto, sexto, séptimo y octavo mes; el día del parto y durante la lactancia las semanas 1, 2, 3, 4, 8, 12 y 16, para un total de 12 determinaciones por animal. Después del ordeño de la mañana, se practicó a cada vaca un examen clínico completo con el fin de establecer el estado de salud de los animales y se registraron: frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria, movimientos ruminales y temperatura rectal. También se tomó el perímetro torácico y se hizo una estimación subjetiva de la condición corporal (escala de 1 a 5), según un método visual adaptado de los sistemas reportados

Tabla 1. Ingredientes y análisis proximal de la dieta suministrada a los animales experimentales.

| CONTENIDO (en base seca)    |                             |       |                 |           |          |           |                  |                  |        |
|-----------------------------|-----------------------------|-------|-----------------|-----------|----------|-----------|------------------|------------------|--------|
| Alimento                    | MS %                        | PC %  | PS <sup>e</sup> | Digest. % | FDN %    | Calcio %  | Fósforo %        | Enl <sup>a</sup> | NDT Kg |
| 1. Pasto Kikuyo (60d)       | 18.63                       | 15.67 | 83.43           | 73.0      | 49.94    | 0.48      | 0.32             | 1.07             | 48.76  |
| 2. Concentrado              | 93.4                        | 17.84 | 74.35           | 83.5      | 45.98    | 0.67      | 0.48             | 1.28             | 57.38  |
| APORTE                      |                             |       |                 |           |          |           |                  |                  |        |
| Alimento                    | Consumo kg/día <sup>b</sup> | MS kg | PT g            | PS g      | Calcio g | Fósforo g | Enl <sup>a</sup> | NDT Kg           |        |
| 1. Pasto Kikuyo (60d)       | 50                          | 9.31  | 1458.8          | 1217.07   | 44.6     | 29.7      | 9.96             | 4.53             |        |
| 2. Concentrado              | 4 <sup>c</sup>              | 3.73  | 665.4           | 494.70    | 24.9     | 17.9      | 4.77             | 2.14             |        |
| TOTAL                       |                             | 13.04 | 2124.2          | 1711.77   | 69.5     | 47.6      | 14.73            | 6.67             |        |
| Requerimientos <sup>d</sup> |                             | 14.78 | 2054.0          | 1257.00   | 75.0     | 48.0      | 22.38            | 9.86             |        |
| Balance de nutrientes       |                             | -1.74 | +70.2           | +454.70   | -5.5     | -0.4      | -7.65            | -3.19            |        |

a. Energía neta de lactancia (Mcal/kg)

b. Calculado (NRC, 1988)

c. Según suministro en finca

d. Para una vaca de 500 kg, con producción de 17 kg leche/día y 4% grasa (NRC, 1988)

e. Proteína soluble

por Mulvany, (1981), Wilman et al., (1982) y Edmonson et al., (1989).

Se tomaron 3 muestras de sangre de la vena y/o arteria coccígea utilizando tubos y agujas para vacutainer, con EDTA para la determinación de hematocrito y hemoglobina, con Fluoruro de Sodio para la glucosa plasmática y sin anticoagulante para obtener suero, el cual se separó por centrifugación durante 15 minutos a 3.500 rpm y se almacenó a  $-20^{\circ}\text{C}$  en viales rotulados hasta su procesamiento.

#### Análisis de laboratorio

**Función hemática:** El hematocrito (HTO), se determinó por el método de microhematocrito (Schalm et al., 1975), la hemoglobina (HB), por la técnica de la cianometahemoglobina en el hemoglobímetro coulter 2, el hierro sérico (Fe) por la metodología ferene-s Merck Company, Germany (Henry et al., 1974), el volumen corpuscular medio (VCM), la hemoglobina corpuscular media (HCM) y la concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM) se obtuvieron por cálculo matemático a partir de los eritrocitos, hematocrito y la hemoglobina.

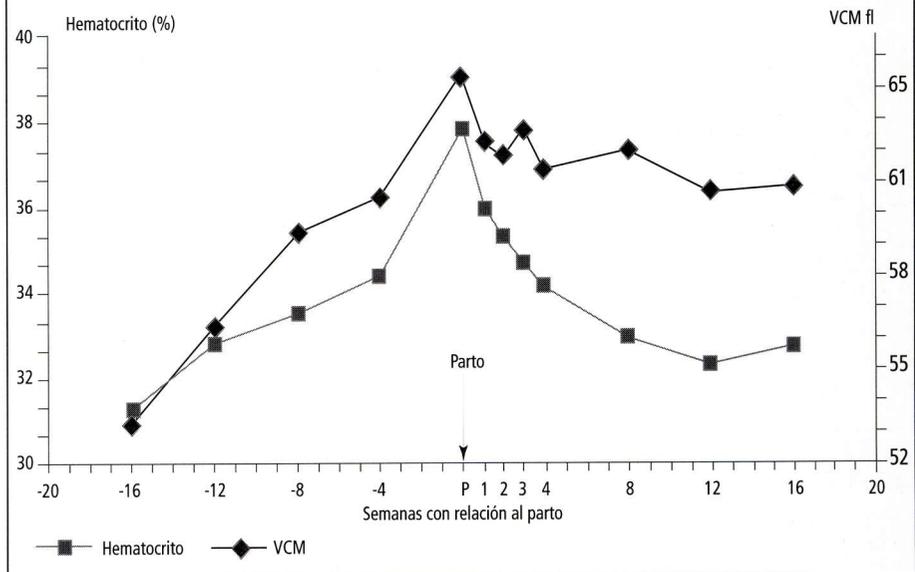
**Función hepática:** la albúmina (ALB) se procesó por la prueba verde de Bromocresol, A119722001 Merck Company, Germany, (Miyada y Baysinger, 1972), la urea por Ureasa/Berthelot 6374 Bayer Corporation USA (Fawcett y Scott, 1960), las proteínas totales (PT) mediante la técnica de Biuret, 3327 Merck Company, Germany (Tumbleston et al., 1973) y las globulinas (GLOB), sustrayendo la albúmina de las proteínas totales. La bilirrubina total (BT), se procesó por la prueba de Jendrassik-Grof (Cornelius, 1970), el aspartato aminotransferasa (ASAT) EC 2.6.1.1. por método cinético IFCC/TRIS Merck Company, Germany. (Anderson et al., 1981) y la gamma glutamil transferasa (GGT) EC 2.3.2.2., mediante prueba cinética G-G-3-Carboxi-4 nitronilida, Human, Germany (West, 1989). Los análisis de química sanguínea se realizaron en un analizador químico automatizado multicanal de lectura vertical.

#### Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete SAS (Statistical Analysis System), mediante el procedimiento de modelos lineales generales (GLM). Los modelos propuestos para el análisis de varianza incluyeron los siguientes efectos principales: el estado fisiológico que representa los 12 muestreos realizados, 4 en la gestación, uno en el parto y 7 en la lactancia, y el número de lactancias, de primera a

Figura 1a.

Valores medios de hematocrito (HTO) y volumen corpuscular medio (VCM) de vacas lecheras en gestación, parto y lactancia



sexta lactancia. No se consideró un análisis de medidas repetidas por pérdida de unidades, lo que no permitió la estimación de los parámetros en el modelo. Cuando se determinaron diferencias significativas con el análisis de varianza, de una vía para cada una de las variables, se aplicó la prueba de Tukey para comparar promedios.

Así mismo, se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson "r" entre las variables de función, y con respecto al número de lactancias para cada estado fisiológico categorizado así: el primer período, determinaciones del quinto y sexto mes de gestación; el segundo, del séptimo y octavo mes de gestación; el tercero, el día del parto; el cuarto, las tres primeras semanas de lactancia; el quinto, la cuarta y octava semana de lactancia y el sexto período, las semanas 12 y 16 de lactancia. También para cada parámetro se obtuvieron los valores promedios, la desviación estándar, el error estándar, los máximos y mínimos y el coeficiente de variación.

## Resultados y discusión

### Cambios metabólicos en la gestación

En la Tabla 2 se presenta la estadística descriptiva (valores medios, desviación estándar, máximos y mínimos y coeficiente de variación), de las variables evaluadas. Dentro de los resultados no se muestra la información relacionada con los signos vitales, ni la condición corporal. La información descrita a continuación corresponde a animales que no presentaron enfermedad clínica aparente en el examen físico.

### Función hemática

La Tabla 3a. describe el análisis de varianza para indicadores de función hemática según el estado fisiológico. Entre el quinto y octavo mes de gestación, se observó un aumento significativo del HTO ( $34.47 \pm 2.52\%$ ) y VCM ( $60.69 \pm 9.28$  fl) ( $P < .05$ ), con sus valores máximos al octavo mes de gestación, y no significativo ( $P < .05$ ) de la HCM, Figuras 1a, 1b y Tabla 3b. Mientras que la HB ( $11.78 \pm 1.13$  g/dl) en el séptimo mes, y la CHCM ( $35.12 \pm 3.24$  g/dl) y hierro sérico ( $24.7 \pm 5.2$  ug/l) en el octavo mes de gestación, disminuyeron significativamente ( $P < .05$ ), (Figuras 1b, 1c y Tabla 3b).

Los niveles de HTO y HB entre el 5 y 7 mes fueron similares a los reportados por Gómez et al., (1983) y Rugeles (1993) en vacas Holstein al final de la gestación en la Sabana de Bogotá. Sin embargo, los valores del octavo mes en este estudio son levemente superiores a los encontrados por los citados autores.

Los cambios descritos anteriormente son normales y responden al crecimiento fetal. Al final de la gestación, la fisiología de la vaca está sujeta a una serie de cambios metabólicos en procura de mantener el crecimiento del 'conceptus' y el desarrollo de la glándula mamaria, lo que implica ajuste en los indicadores de la función hemática. El incremento del HTO, HB, y del tamaño y concentración de hemoglobina del eritrocito en la parte final de la gestación, es el resultado del aumento de la demanda de oxígeno para el crecimiento

|  |   |   |
|--|---|---|
| <p>to fetal, el cual es máximo en el último tercio de la gestación. Reynolds, (1953), menciona que el volumen de eritrocitos y de plasma se expanden proporcionalmente con la gestación. En la vaca se ha calculado que al final de la preñez, la tasa metabólica fetal se duplica y los tejidos del útero y la placenta consumen de 35 a 50% del oxígeno disponible (Reynolds et al., 1986). Así mismo, se aumenta 16 veces la captación fetal de oxígeno (Reynolds et al., 1986) y la tasa metabólica materna es mayor (Stock y Metcalfe, 1994). Esto implica que se aumente el número de eritrocitos y su capacidad de transporte de oxígeno con el</p> | <p>fin de soportar el crecimiento fetal y el aumento del metabolismo del conceptus.</p> <p>Sin embargo, bajo las condiciones de altura de la Sabana de Bogotá se presenta otra serie de cambios en la función hemática. Los valores medios de HCM (20.57 pg) y de CHCM (36.15 g/dl) para la gestación, se encuentran por encima de los valores máximos normales reportados por la literatura para bovinos mantenidos en ambientes de baja altitud (17 pg y 36 g/dl respectivamente), (Schalm et al., 1975), mientras que el VCM (57.47± 8.07 fl) es superior al promedio que se describe para bovinos en condiciones normales (52 fl)</p> | <p>(Schalm et al., 1975; Coles, 1986), por el contrario, son similares a los reportados por Rugeles, (1993) en vacas Holstein en periodo de gestación en la Sabana de Bogotá. Estos cambios indican que para vacas lecheras en condiciones de altura, los eritrocitos son de mayor tamaño y mayor contenido de hemoglobina, y posiblemente representen mecanismos compensatorios ocasionados por los bajos recuentos de eritrocitos, ya que para los animales experimentales, se encontró un promedio de <math>5.65 \pm 0.76 \times 10^6</math> eritrocitos/ul, valor cercano al rango mínimo normal de <math>5.0 \times 10^6</math> eritrocitos/ul descrito por Schalm et al.,</p> |
|--|---|---|

**Tabla 2.** Estadística descriptiva de variables de función hemática y hepática en vacas Holstein en condiciones tropicales.

| Variable                | Unidades | n   | Media | D.E.  | E.E. | Valor Mínimo | Valor Máximo | C.V.  |
|-------------------------|----------|-----|-------|-------|------|--------------|--------------|-------|
| <b>FUNCIÓN HEMÁTICA</b> |          |     |       |       |      |              |              |       |
| Hematocrito             | %        | 436 | 33.89 | 3.17  | .15  | 20.0         | 43.0         | 9.35  |
| Hemoglobina             | g/dl     | 435 | 11.72 | 1.19  | .05  | 9.30         | 16.1         | 10.21 |
| V.C.M. <sup>a</sup>     | fl       | 423 | 60.52 | 7.75  | .37  | 32.0         | 82.0         | 12.81 |
| H.C.M. <sup>b</sup>     | pg       | 425 | 20.88 | 2.36  | .11  | 11.0         | 33.0         | 11.31 |
| C.H.C.M. <sup>c</sup>   | g/dl     | 435 | 34.66 | 2.87  | .13  | 29.0         | 51.0         | 8.28  |
| Hierro                  | umol/l   | 295 | 22.23 | 5.24  | .30  | 8.32         | 36.83        | 23.57 |
| <b>FUNCIÓN HEPÁTICA</b> |          |     |       |       |      |              |              |       |
| Bilirrubina total       | mg/dl    | 317 | 0.35  | .17   | .01  | .02          | .89          | 49.91 |
| A.S.A.T. <sup>d</sup>   | U/l      | 253 | 62.33 | 15.55 | .97  | 33.0         | 124.0        | 24.95 |
| G.G.T. <sup>e</sup>     | U/l      | 264 | 16.33 | 7.17  | .44  | 5.0          | 58.0         | 43.92 |
| Proteína total          | g/dl     | 332 | 7.14  | .98   | .05  | 4.89         | 9.47         | 13.72 |
| Albumina                | g/dl     | 334 | 3.35  | .60   | .03  | 1.41         | 5.06         | 18.14 |
| Globulinas              | g/dl     | 331 | 3.79  | .83   | .04  | 1.42         | 6.57         | 21.98 |
| Urea                    | mg/dl    | 133 | 30.92 | 7.89  | .68  | 12.0         | 52.0         | 25.51 |

D.E. = Desviación estándar

E.E. = Error estándar

C.V. = Coeficiente de variación

a = Volumen corpuscular medio

b = Hemoglobina corpuscular media

c = Concentración de hemoglobina corpuscular media

d = Aspartato amino transferasa

e = Gamma glutamil transferasa

**Tabla 3a.** Cuadrado medio en el análisis de varianza para indicadores de función hemática según estado fisiológico

| Fuentes de variación | gl  | HTO      | gl  | HB      | gl  | VCM      | gl  | HCM     | gl  | CMHC    | gl  | Fe       |
|----------------------|-----|----------|-----|---------|-----|----------|-----|---------|-----|---------|-----|----------|
| Estado fisiológico   | 11  | 104.32** | 11  | 13.77** | 11  | 320.59** | 11  | 24.36** | 11  | 74.28** | 11  | 120.79** |
| Error                | 424 | 7.61     | 423 | 1.1     | 411 | 53.18    | 416 | 5.14    | 423 | 6.52    | 283 | 23.84    |
| Total                | 435 | -        | 434 | -       | 422 | -        | 427 | -       | 434 | -       | 294 | -        |
| C.V.                 |     | 9.35     |     | 10.21   |     | 12.81    |     | 11.31   |     | 8.28    |     | 23.57    |

\*\* P<.01

\*P<.05

(1975) y valor bajo para animales en condiciones de altura.

Otro factor relacionado, puede ser la respuesta compensatoria a la baja tensión de oxígeno atmosférico de la Sabana de Bogotá. Se ha demostrado que bovinos mantenidos por períodos cortos de tiempo a una altura superior a 2000 msnm. muestran incremento de los eritrocitos, HTO y HB, (Jain, 1993). Sin embargo, estos cambios no son evidentes en los animales experimentales, posiblemente por el largo tiempo de permanencia bajo estas condiciones. Por el contrario, se observa un aumento marcado del tamaño del eritrocito (VCM) y de su contenido de hemoglobina (HCM), lo que parece ser un mecanismo especial de adaptación de estos genotipos al ambiente de altura. Hock, (1970) demostró que ratones sometidos a alturas de más de 4.000 msnm incrementan el número de eritrocitos, pero después de permanecer por más de 75 días en este ambiente disminuyen el HTO, HB y CHCM y aumentan el VCM y HCM, indicando una tendencia a la compensación por la caída en el número de eritrocitos. De otra parte, la disminución del Fe sérico en la parte final de la gestación, se debe a su incorporación a los tejidos fetales. Junid y Krad, (1987) observaron en bovinos que la captación fetal de Fe aumenta en el último tercio de la gestación.

#### Función hepática

La Tabla 4a presenta el análisis de varianza para indicadores de función hepática, según el estado fisiológico. Desde el séptimo mes de gestación se encuentra una disminución sostenida de las PT y las GLOB, mientras que la ALB y la urea descienden gradualmente a partir del quinto mes; pero los cambios en su concentración no fueron significativos ( $P > .05$ ), un mes antes del parto se presentaron las concentraciones más bajas de PT ( $7.09 \pm 1.01$  g/dl), GLO ( $3.79 \pm .73$  g/dl) y urea ( $27.47 \pm 4.91$  mg/dl), (Figuras 2a, 2b y Tabla 4b). Así mismo, la BT, ASAT y GGT no mostraron cambios significativos en la parte final de la gestación. ( $P > .05$ ), (Figura 2c y Tabla 4).

La concentración de metabolitos y la actividad enzimática se encuentran dentro de los rangos normales descritos por la literatura (Rowlands et al., 1975; Herdt y Stevens, 1981). La disminución de la proteína total se relaciona con su incorporación al feto. En bovinos la deposición de la proteína fetal alcanza el 50% de la captación neta de aminoácidos (Reynolds et al., 1986; Ferrell, 1991). Se ha descrito un promedio de deposición de proteína cruda de 74 g/d, para fetos bovinos Holstein entre 190 y 270 días de gestación Alan, (1995). De otra parte, la caída en la fracción de GLOB está asociada con el proceso de transporte y síntesis de gammaglobulinas para la formación de calostro. Besser y Gay, (1994), mencionan

que este proceso comienza aproximadamente ocho semanas antes del parto, lo que coincide con el descenso de la concentración de GLOB observado en los animales experimentales.

La literatura también reporta una disminución leve de la concentración de ALB al final de la gestación (Herdt y Stevens, 1981), tendencia que depende de la disponibilidad de aminoácidos y de la capacidad de síntesis del hígado materno. Al final de la gestación, el feto requiere grandes cantidades de nitrógeno, las cuales se consiguen mediante la incorporación de aminoácidos producidos por las altas tasas de degradación de proteína tisular materna (Ferrell et al., 1980; Jones y Rolph, 1985).

Varios investigadores han demostrado que la urea disminuye gradualmente al final de la gestación (Rowlands et al., 1975; Peterson y Waldern, 1981), situación que no coincide con el metabolismo fetal de esta fase, ya que se ha estimado que aproximadamente el 72% de los aminoácidos captados por el feto son catabolizados y excretados a la circulación materna como urea (Ferrell, 1991). En ovejas gestantes se conoce que, a pesar del aumento en el consumo de proteína cruda, se presenta reducción de la concentración sanguínea de urea, lo que implica una reducción del catabolismo hepático de aminoácidos en la madre (Bell, 1995). En la mujer se ha demostrado que la proteólisis por unidad

Tabla 3b. Valores medios de indicadores de función hemática en gestación y parto de vacas lecheras.

| VARIABLE         | n | GESTACIÓN (mes) |      |         |      |       |      |       |      | PARTO   |      |
|------------------|---|-----------------|------|---------|------|-------|------|-------|------|---------|------|
|                  |   | 5               |      | 6       |      | 7     |      | 8     |      | 26      |      |
|                  |   | x               | E.E. | x       | E.E. | x     | E.E. | x     | E.E. | x       | E.E. |
| Hematocrito %    |   | 31,23           | .77  | 32,79   | .58  | 33,47 | .45  | 34,37 | .4   | 37,77   | .57  |
|                  |   | f*              |      | d,e,f   |      | c,d,e |      | c,d,e |      | a       |      |
| Hemoglobina g/dL |   | 11,90           | .24  | 11,86   | .21  | 11,78 | .18  | 12,01 | .18  | 13,12   | .27  |
|                  |   | b               |      | b       |      | b,c   |      | b     |      | a       |      |
| V.C.M. FL        |   | 53,22           | 1,38 | 56,4    | 1,1  | 59,57 | 1,35 | 60,69 | 1,48 | 64,66   | 1,4  |
|                  |   | c               |      | b,c     |      | a,b   |      | a,b   |      | a       |      |
| HCM pg           |   | 20,08           | .41  | 19,92   | .37  | 21,02 | .41  | 21,10 | .41  | 23,34   | .66  |
|                  |   | a               |      | a       |      | a     |      | a     |      | b       |      |
| CHCM %           |   | 38,21           | .79  | 35,92   | .43  | 35,36 | .33  | 35,12 | .51  | 34,74   | .52  |
|                  |   | a               |      | b       |      | b,c   |      |       |      | b,c,d,e |      |
| Hierro ug/L      |   | 23,87           | .8   | 21,90   | .85  | 26,10 | .79  | 24,70 | .83  | 20,33   | 1,55 |
|                  |   | a,b,c           |      | a,b,c,d |      | a     |      | a,b   |      | b,c,d   |      |

\* Promedios dentro de una misma fila con diferente superíndice presentan diferencias significativas ( $P < .05$ )

X : Media

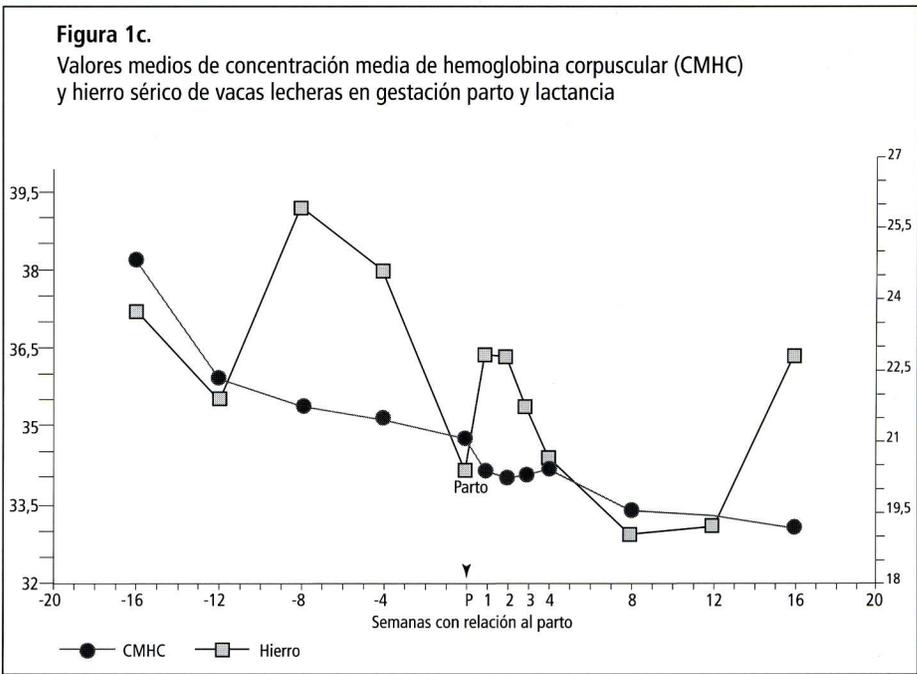
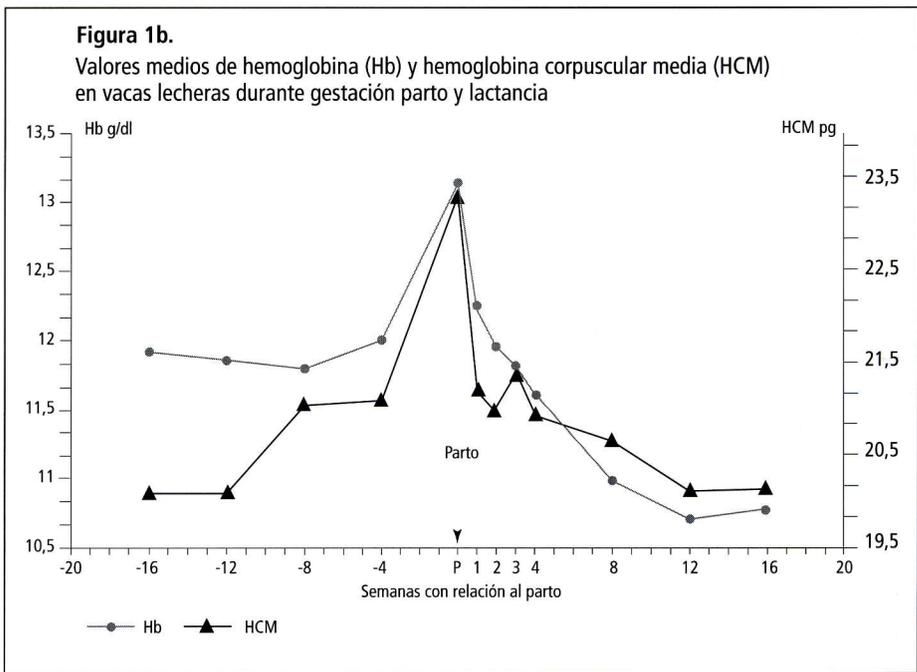
EE : Error estándar

n : Número de observaciones

VCM : Volumen corpuscular medio

HCM : Hemoglobina corpuscular media

CHCM : Concentración de hemoglobina corpuscular media



**Tabla 4a.** Cuadrado medio en el análisis de varianza para indicadores de función hepática según estado fisiológico

| FUENTES VARIACIÓN  | Gl  | PT     | gl  | ALB   | gl  | GLOB   | gl  | UREA  | gl  | BT    | gl  | ASAT      | gl  | GGT   |
|--------------------|-----|--------|-----|-------|-----|--------|-----|-------|-----|-------|-----|-----------|-----|-------|
| Estado fisiológico | 11  | 4.30** | 11  | .48   | 11  | 4.12** | 11  | 76.56 | 11  | .11** | 11  | 2118.48** | 11  | 76.91 |
| Error              | 320 | .84    | 322 | .36   | 319 | .58    | 123 | 64.83 | 305 | .02   | 241 | 156.26    | 252 | 51.03 |
| Total              | 331 | -      | 333 | -     | 330 | -      | 133 | -     | 316 | -     | 252 | -         | 263 |       |
| C.V.               |     | 13.72  |     | 18.14 |     | 21.98  |     | 25.51 |     | 49.91 |     | 24.95     |     | 43.92 |

\*\* P<.01

\*P<.05

de peso y la tasa de excreción de urea, se reducen en el último trimestre de gestación (Stock y Metcalfe, 1994).

La estabilidad relativa de la BT, AST y GGT en la gestación de las vacas de este estudio, hace suponer que no se presentaron cambios evidentes en la función celular hepática, ya que los metabolitos responden a las alteraciones del funcionamiento del hígado en situaciones de estrés metabólico. Lotthammer, (1981) y Dehning, (1988), describen que la concentración de BT menor a .30 mg/dl y la actividad de ASAT por debajo de 48 U/L son normales para el final de la gestación. Así mismo, valores de actividad de GGT por debajo de 20 U/L, están dentro de los rangos fisiológicos (Hang-Poung, 1989), por tanto, los valores de estos metabolitos en los animales experimentales se encuentran dentro de los rangos de normalidad presentados anteriormente. Figura 2c, Tabla 4.

*Cambios metabólicos al parto*

**Función hemática**

Los indicadores de función hemática se modificaron ampliamente el día del parto con una elevación significativa con respecto a los valores de la gestación del HTO ( $37.77 \pm 2.93$  vs  $34.37 \pm 2.52$  %), HB ( $13.12 \pm 1.39$  vs  $12.01 \pm 1.18$  g/dl) y HCM ( $23.34 \pm 3.40$  vs  $21.1 \pm 2.6$  pg), ( $P < .05$ ), Figuras 1a y 1b, Tabla 3b.

El parto es un proceso de transición entre la gestación y la lactancia y supone gran cantidad de ajustes metabólicos necesarios para soportar el inicio de la producción de leche. Así mismo, es un estado que conlleva gran dosis de estrés para el animal, por tanto, se espera que se presenten amplias modificaciones en los metabolitos sanguíneos.

Los hallazgos descritos anteriormente son normales y transitorios, ya que solo se presentan durante el parto. Holman, (1956) y Straub et al., (1959), citados por Schalm et al., (1975), Sloss y Dufty, (1980) y Miltemburg et al., (1991), describen un aumento del HTO y HB el día del parto, con un retorno a la normalidad 48 horas después, incremento que, se piensa, se debe a la movilización de eritrocitos conservados en el bazo y la médula ósea y a la reducción del volumen plasmático (Jain, 1993), o a una posible disminución en el consumo de agua (Furugouri et al., 1982). El aumento del peso (HCM) y la concentración de hemoglobina del eritrocito (CHCM), es el resultado de la salida de eritrocitos de mayor tamaño de sus sitios de depósito. Jain, (1993) menciona, que en caballos después de ejercicio intenso, los eritrocitos liberados del bazo son de mayor tamaño y baja concentración de HCM y CHCM, debido a que son eritrocitos que

no han completado su proceso de maduración.

Entre tanto, la disminución de la concentración sérica de Fe ( $20.33 \pm 7.89$  vs  $24.7 \pm 5.2$  ug/l) que se evidenció en el parto, a pesar de no ser significativa, si tiene un significado biológico importante ya que puede ser parte esencial de un mecanismo de defensa del animal (Flórez, 1993). El tiempo cercano al parto es una época donde los procesos inflamatorios en el útero y la glándula mamaria suelen presentarse con frecuencia. Las bacterias involucradas en estos procesos dependen de la disponibilidad de Fe, el cual, se ha encontrado que disminuye en las reacciones inmunes mediadas por macrófagos (Smith, 1989); también se puede asociar con el descenso de la capacidad total de fijación de hierro y con el aumento de la ferritina sérica (Furugouri et al., 1982), cambios característicos de reacción de fase aguda (respuesta inmune primaria a patógenos), estado que es posible se presente en el parto. Otro factor que afecta el Fe sérico son los corticosteroides, los cuales se aumentan alrededor del parto y disminuyen su contenido en la sangre Weeks et al., (1987) citado por Smith, (1989).

*Función hepática*

El descenso de la PT al parto ( $6.48 \pm .84$

**Tabla 4b.** Valores medios de indicadores de función hepática en gestación y parto de vacas lecheras.

| VARIABLE                | n | GESTACIÓN (mes) |      |       |      |       |      |       |      | PARTO |      |
|-------------------------|---|-----------------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|                         |   | 5               |      | 6     |      | 7     |      | 8     |      | 21    |      |
|                         |   | x               | E.E. | x     | E.E. | x     | E.E. | x     | E.E. | x     | E.E. |
| Proteínas totales g/dL  |   | 7,32            | .14  | 7,16  | .19  | 7,24  | .14  | 7,09  | .16  | 36,48 | .16  |
|                         |   | a,b             |      | a,b,c |      | a,b,c |      | a,b,c |      | c     |      |
| Albúmina g/dL           |   | 3,46            | .86  | 3,32  | .1   | 3,28  | .09  | 3,31  | .1   | 3,48  | .14  |
|                         |   | a,b*            |      | a,b   |      | a,b   |      | a,b   |      | a,b   |      |
| Globulinas g/dL         |   | 3,88            | .17  | 3,83  | .16  | 3,95  | .11  | 3,79  | .12  | 3,01  | .12  |
|                         |   | a,b,c           |      | a,b,c |      | a,b,c |      | d     |      | d     |      |
| Urea mg/dL              |   | 32,66           | 3,2  | 31,91 | 1,1  | 28,16 | .81  | 27,47 | .85  | 35,5  | 2,2  |
|                         |   | a               |      | a     |      | a     |      | a     |      | a     |      |
| Bilirrubina total mg/dL |   | ,29             | .04  | ,29   | .03  | ,27   | .02  | ,31   | .03  | ,37   | .04  |
|                         |   | b,c             |      | b,c   |      | c     |      | b,c   |      | a,b,c |      |
| AST u/L                 |   | 48,63           | 1,7  | 49,80 | 2,2  | 49,88 | 2    | 49,0  | 1,4  | 72,05 | 4,2  |
|                         |   | c               |      | b,c   |      | b,c   |      | c     |      | a     |      |
| GGT u/L                 |   | 14,09           | .85  | 15,20 | .1   | 15,08 | 1,2  | 13,84 | .9   | 17,64 | 2,9  |
|                         |   | a               |      | a     |      | a     |      | a     |      | a     |      |

\* Promedios dentro de una misma fila con diferente superíndice presentan diferencias significativas ( $P < .05$ )

X : Media

EE : Error estándar

n : Número de observaciones

AST : Asparto amino transferasa

GGT : Gamma glutamil transferasa

Tabla 5. Valores medios de indicadores de función hemática en lactancia de vacas lecheras.

| VARIABLE         | n | LACTANCIA (semanas) |     |                  |     |                  |     |                  |     |                |     |              |     |                  |     |
|------------------|---|---------------------|-----|------------------|-----|------------------|-----|------------------|-----|----------------|-----|--------------|-----|------------------|-----|
|                  |   | 1                   |     | 2                |     | 3                |     | 4                |     | 8              |     | 12           |     | 16               |     |
|                  |   | 37                  | 38  | 39               | 38  | 39               | 35  | 24               | x   | E.E.           | x   | E.E.         | x   | E.E.             | x   |
| Hematocrito %    |   | 35,38<br>a,b*       | .39 | 35,28<br>b,c,d   | .32 | 34,66<br>b,c,d   | .41 | 34,07<br>b,c,d,e | .34 | 32,90<br>d,e,f | .34 | 32,25<br>e,f | .31 | 32,66<br>d,e,f   | .45 |
| Hemoglobina g/Dl |   | 12,23<br>b          | .14 | 11,95<br>b,c     | .12 | 11,78<br>b,c     | .16 | 11,61<br>b,c     | .16 | 10,97<br>c,d   | .13 | 10,70<br>d   | .1  | 10,77<br>d       | .12 |
| V.C.M. FL        |   | 62,35<br>a          | 1,2 | 62,05<br>a       | 1,2 | 62,79<br>a       | 1,2 | 61,53<br>a,b     | 1,4 | 62,15<br>a,b   | .92 | 60,82<br>a,b | .71 | 60,95<br>a,b     | .91 |
| HCM pg           |   | 21,21<br>a          | .34 | 20,94<br>a       | .33 | 21,35<br>a       | .34 | 20,92<br>a       | .43 | 20,66<br>a     | .21 | 20,11<br>a   | .23 | 20,12<br>a       | .28 |
| CHCM %           |   | 34,13<br>b,c,d,e    | .27 | 34,00<br>b,c,d,e | .34 | 34,05<br>b,c,d,e | .37 | 34,15<br>b,c,d,e | .36 | 33,37<br>c,d,e | .33 | 33,25<br>d,e | .19 | 33,04<br>e       | .27 |
| Hierro Ug/L      |   | 22,90<br>a,b,c,d    | .9  | 22,87<br>a,b,c,d | .81 | 21,80<br>a,b,c,d | .77 | 20,68<br>b,c,d   | .53 | 18,99<br>d     | .5  | 19,22<br>c,d | .56 | 22,94<br>a,b,c,d | .98 |

\* Promedios dentro de una misma fila con diferente superíndice presentan diferencias significativas ( $P < .05$ )

X : Media

EE : Error estándar

n : Número de observaciones

VCM : Volumen corpuscular medio

HCM : Hemoglobina corpuscular media

CHCM : Concentración de hemoglobina corpuscular media

vs 7.09  $\pm$  1.01 g/dl), se atribuye principalmente a la disminución significativa de las GLOB, que caen 20% (3.0  $\pm$  1.58 g/d) con relación a su valor un mes preparto (3.79  $\pm$  0.75 g/d), ( $P < .05$ ), Figura 2a, Tabla 4b. Esto parece ser consecuencia de la migración normal de gammaglobulinas desde la sangre a la glándula mamaria para la formación de calostro (Schalm et al., 1975; Blum et al., 1983). La baja concentración de GLOB también puede ser el resultado de un estado de inmunosupresión, el cual así mismo, puede presentarse en el parto.

La ALB (3.48  $\pm$  .65 vs 3.30  $\pm$  .60 g/dl) y urea (35.5  $\pm$  10.1 vs 27.47  $\pm$  4.91 mg/dl), también aumentan a su valor máximo el día del parto ( $P > .05$ ), Figura 2b, Tabla 4b, comportamiento contrario a lo descrito por Blum et al., (1983). Este cambio es temporal, porque solo se relaciona con el parto ya que una semana después los valores disminuyen; el aumento posiblemente se debe a cambios en el balance hídrico. El proceso de parición conlleva a un estado temporal de deshidratación, debido a disminución o a supresión del consumo de agua Holter y Urban, (1992). La deshidratación produce incremento de la concentración de ALB, por hemoconcentración (Esievo y Moore, 1979), lo que también afecta la urea. Little et al., (1984) reportan que este metabolito se incrementa después

de 38 horas en estados de supresión del consumo de agua.

La función celular hepática se altera en forma patológica el día del parto y se refleja principalmente en el incremento significativo de la actividad de la ASAT (72.05  $\pm$  17.6 vs 49.0  $\pm$  7.3 U/l), ( $P < .05$ ), Figura 2c, Tabla 4b. El valor encontrado en el parto (72.65 U/L), está por encima del valor normal de 48 U/L, descrito por la literatura (Hang-Pound, 1989). El aumento de la ASAT el día del parto puede ser indicio de disfunción hepática, ocasionada por acumulación de lípidos en los hepatocitos. Uhlig et al., (1988) demostraron que existe alta correlación entre ASAT y la degeneración de la grasa del hígado. En un estudio realizado en vacas clínicamente normales, Husveth et al., (1982) observaron un aumento de la cantidad de grasa hepática en el último mes de gestación, el cual se incrementó el día del parto. Es posible por tanto, que para las vacas de este trabajo, exista acumulación de grasa en el hígado, con la consecuente disfunción hepática. Sin embargo, este cambio no se reflejó en los valores de BT y GGT, los cuales no presentaron cambios significativos con respecto a sus valores de la gestación ( $P > .05$ ) y que se encontraban dentro de los rangos fisiológicos para vacas al momento del parto, (Dehning, 1988), Figura 2c, Tabla 4b.

La concentración de bilirrubina total solo se aumenta levemente en casos de enfermedad hepática difusa y no es un indicador sensible de disfunción hepática. Por su parte, la GGT es principalmente un buen indicador de colestasis (Cornelius, 1989), lo que puede explicar en parte los hallazgos descritos anteriormente.

#### Cambios metabólicos en lactancia

##### Función hemática

Después del parto, el HTO y HB se disminuyen rápidamente, este descenso prosigue hasta la semana 12. Las concentraciones tienden a incrementarse en la décimo sexta (16) semana sin llegar a ser significativamente diferentes entre semanas de lactancia, ( $P > .05$ ), Figuras 1a y 1b, Tabla 5. En cuanto a VCM, HCM Y CHCM, muestran un descenso progresivo no significativo hasta el cuarto mes de lactancia ( $P > .05$ ), Figuras 1a, 1b, 1c, Tabla 5. En relación con el Fe, éste aumenta en la primera semana posparto con respecto a su concentración al parto (22.9  $\pm$  5.49 vs 20.33  $\pm$  7.89 ug/l). ( $P > .05$ ), pero a partir de este punto comienza un descenso hasta la octava semana y se eleva nuevamente en la semana décimo sexta (16), Figura 1c, Tabla 5. En la decimosegunda semana de lactancia se encontró el valor más bajo de HTO (32.25  $\pm$  1.89 %), HB (10.7  $\pm$  .61 g/dl) y HCM (20.11  $\pm$  1.40 pg).

Los cambios descritos para el HTO y la HB se encuentran dentro de los rangos normales y coinciden con los descritos por Rugeles, (1993); Alejo et al., (1984); Forero y Paba (1985) y Latorre et al., (1987), en vacas Holstein durante la lactancia en la Sabana de Bogotá. De igual forma, los valores de VCM, HCM y CHCM, son similares a los reportados por Rugeles, (1993) en vacas Holstein en las 12 primeras semanas posparto y mayores a los encontrados por Guerrero, (1982) en novillas Holstein de 16 a 30 meses de edad.

Existen varios reportes acerca de la disminución del HTO y HB en las primeras semanas posparto (Kitchenham et al., 1975; Rowlands et al., 1975; Parker y Blowey, 1976; Esievo y Moore, 1979; Stevens, 1980; Herdt y Stevens, 1981; Furugouri et al., 1982; Kappel et al., 1984). En esta investigación se encontró que la caída del HTO y la HB se presenta sin cambios significativos en el tamaño (VCM), peso y concentración de hemoglobina (HCM, CHCM) ( $P > .05$ ), evidenciando que no existe una caída real del porcentaje de HTO y HB. El cambio en la función hemática tiene que ver con la dinámica normal del balance hídrico de la vaca lechera después del parto. Es posible que la disminución del HTO y HB se deba a un incremento del consu-

mo de agua en el posparto. Se ha demostrado que vacas de alta producción en el inicio de la lactancia, consumen 60% más agua que en la gestación (Shalit et al., 1991) y que el volumen plasmático después del parto aumenta aproximadamente 17%, (Eley et al., 1981; Shalit et al., 1991), por tanto, el descenso de los indicadores de función hemática puede reflejar la hemodilución asociada con aumento en la ingestión de agua y el volumen plasmático, como lo sugieren Annexstad et al., (1990) y Burton et al., (1992) quienes encontraron disminución del HTO por aumento de dicho volumen. Según ecuación desarrollada por Carlson, (1989) citado por Kaneko, (1989), la cual permite calcular cambios en el volumen plasmático con base en el valor del HTO y las PT, se determinó que para las vacas del estudio, hubo un incremento de este volumen del 8 al 10%, entre la primera y decimosegunda semana posparto. La recuperación leve del HTO y HB en el cuarto mes de lactancia se debe posiblemente a cierta hemoconcentración, por disminución del consumo de agua después del pico de producción de leche. De igual forma a lo descrito en la gestación, los valores de VCM, HCM Y CMHC, se encuentran por encima de lo encontrado en bovinos mante-

nidos al nivel del mar. Por tanto, este comportamiento puede ser una respuesta a las condiciones de altura tal como lo describe Rugeles, (1993) en su trabajo con vacas Holstein en la Sabana de Bogotá.

#### Función hepática

En las primeras semanas de lactancia, las PT mantienen su concentración por debajo de 7g/dl, después de la cuarta semana el valor aumenta, y alcanza su máxima concentración en la octava semana ( $7.69 \pm 1.09$  g/dl), llegando a la estabilidad entre las semanas 12 y 16 ( $P > .05$ ), Figura 2a, Tabla 6. La ALB cae una semana después del parto ( $3.22 \pm .67$  vs  $3.48 \pm .65$  g/dl) y se eleva progresivamente hasta la octava semana para disminuir posteriormente en la décimo sexta semana sin presentar cambios significativos ( $P > .05$ ), Figura 2b, Tabla 6. La concentración de GLOB aumenta considerablemente durante la lactancia y después de la cuarta semana su valor supera los 4g/dl, y a partir de la décimo segunda semana la concentración es significativamente diferente del encontrado en las tres primeras semanas posparto ( $P < .05$ ), Figura 2a, Tabla 6. La urea tiende a disminuir durante el primer mes de lactancia y aumenta entre la cuarta y doceava semana, pero no difiere significati-

**Tabla 6.** Valores medios de indicadores de función hepática en lactancia de vacas lecheras.

| VARIABLE                | n | LACTANCIA (semanas) |      |       |     |       |     |       |      |       |      |       |      |       |      |
|-------------------------|---|---------------------|------|-------|-----|-------|-----|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|                         |   | 1                   |      | 2     |     | 3     |     | 4     |      | 8     |      | 12    |      | 16    |      |
|                         |   | 28                  | 31   | 32    | 33  | 25    | 28  | 22    | x    | E.E.  | x    | E.E.  | x    | E.E.  |      |
| Proteínas Totales g/dL  |   | 6,57                | .12  | 6,74  | .12 | 6,91  | .99 | 7,38  | .14  | 7,69  | .17  | 7,66  | .13  | 7,61  | .16  |
|                         |   | b,c                 |      | b,c   |     | a,b,c |     | a,b   |      | a     |      | a     |      | a     |      |
| Albúmina g/dL           |   | 3,22                | .11  | 3,32  | .08 | 3,36  | .1  | 3,37  | .1   | 3,70  | .12  | 3,38  | .1   | 3,15  | .1   |
|                         |   | a,b*                |      | a,b   |     | a,b   |     | a,b   |      | a     |      | a,b   |      | b     |      |
| Globulina g/dL          |   | 3,34                | .11  | 3,42  | .12 | 3,53  | .13 | 4,01  | .13  | 4,08  | .21  | 4,27  | .15  | 4,46  | .11  |
|                         |   | c,d                 |      | b,c,d |     | b,c,d |     | a,b,c |      | a,b   |      | a     |      | a     |      |
| Urea mg/dL              |   | 39,92               | .17  | 32,21 | 1,5 | 30,57 | 1,5 | 29,84 | 1,11 | 33,25 | 1,42 | 34,4  | 1    | -     | -    |
|                         |   | a                   |      | a     |     | a     |     | a     |      | a     |      | a     |      |       |      |
| Bilirrubina total mg/dL |   | ,39                 | .03  | ,39   | .03 | ,35   | .02 | ,30   | .02  | ,34   | .02  | ,45   | .03  | ,50   | .03  |
|                         |   | a,b,c               |      | b,c   |     | a,b,c |     | b,c   |      | b,c   |      | a,b   |      | a     |      |
| AST u/L                 |   | 72,79               | 3,08 | 71,3  | 3   | 68,59 | 2,4 | 69,25 | 2,38 | 65,19 | 1,87 | 63,41 | 1,04 | 65,75 | 1,13 |
|                         |   | a                   |      | a     |     | a     |     | a     |      | a     |      | a,b   |      | a     |      |
| GGT u/L                 |   | 13,75               | .79  | 16,48 | .96 | 16,70 | 1,2 | 17,07 | 1,08 | 19,54 | 1,79 | 19,19 | 1,56 | 17,27 | 1,79 |
|                         |   | a                   |      | a     |     | a     |     | a     |      | a     |      | a     |      | a     |      |

\* Promedios dentro de una misma fila con diferente superíndice presentan diferencias significativas ( $P < .05$ )

X : Media

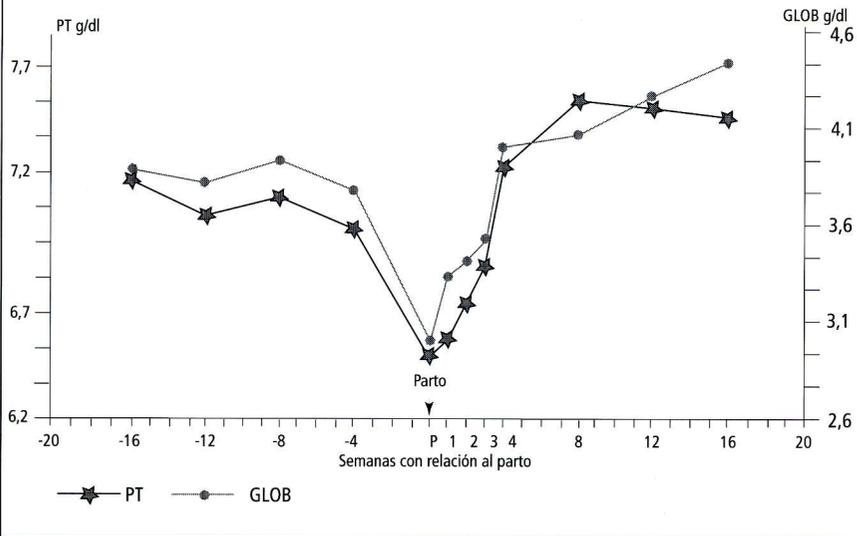
EE : Error estándar

n : Número de observaciones

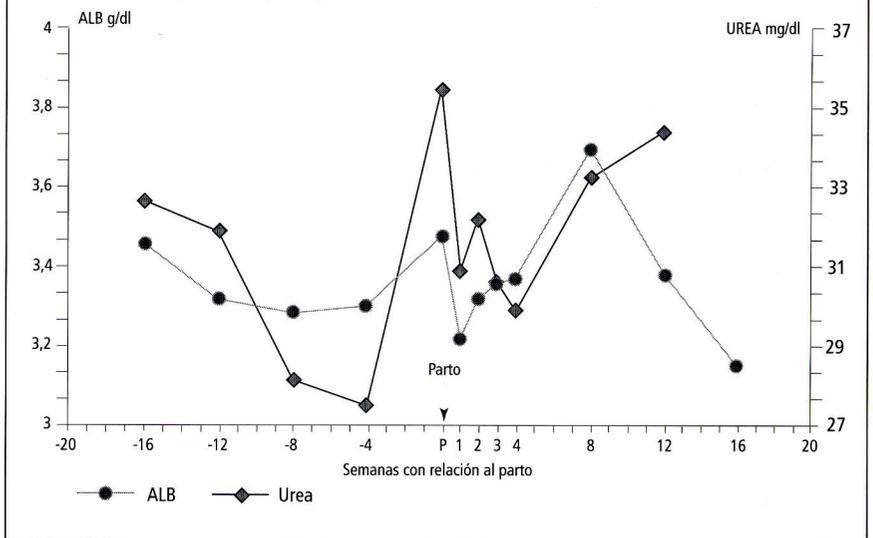
AST : Asparto amino transferasa

GGT : Gamma glutamil transferasa

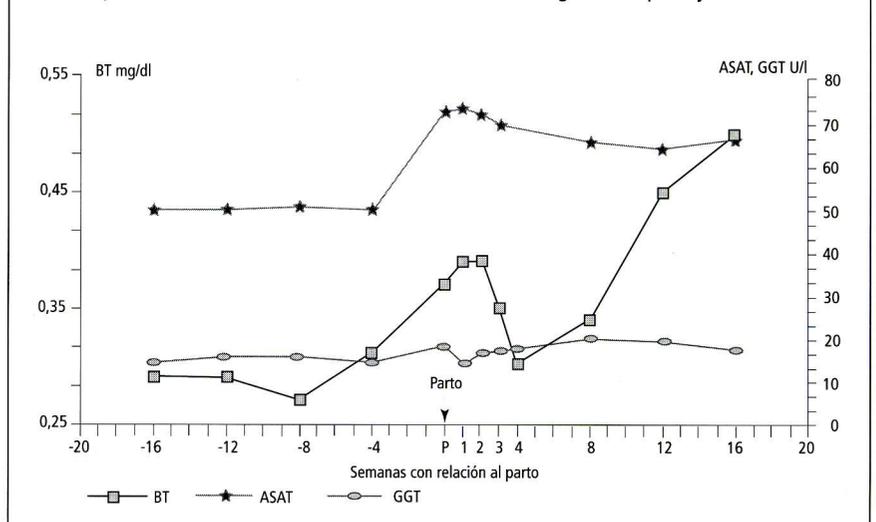
**Figura 2a.**  
Concentración media de proteína total (PT) y globulinas (GLOB) de vacas lecheras en gestación, parto y lactancia



**Figura 2b.**  
Concentración media de albúmina (ALB) y urea de vacas lecheras en gestación, parto y lactancia



**Figura 2c.**  
Concentración media de bilirrubina total (BT) y actividad de aspartato amino transferasa (GGT) de vacas lecheras en gestación, parto y lactancia



vamente entre semanas de lactancia ( $P > .05$ ) Figura 2b.

Durante las dos primeras semanas postparto, la actividad de la ASAT, se mantiene elevada. La máxima concentración de ASAT ( $72.79 \pm 16.6$  vs  $49.0 \pm 7.3$  U/L) se encontró una semana después del parto, pero luego la enzima tiende a disminuir levemente y se mantiene estable hasta la semana décimo sexta sin cambiar significativamente ( $P > .05$ ), Figura 2c, Tabla 6. La actividad de la ASAT en lactancia es significativamente mayor a la observada en la gestación ( $P < .05$ ). Por su parte, la BT solo presenta un aumento significativo en las semanas 12 ( $.45 \pm .19$  mg/dl) y 16 ( $.50 \pm .18$  mg/dl) de lactancia, significativamente superior a la concentración un mes antes del parto ( $.31 \pm .18$  mg/dl) ( $P < .05$ ), Figura 2c. Entretanto, la actividad de la GGT se eleva progresivamente entre la primera y octava semana, pero entre las semanas décimo segunda y décimo sexta se observa una leve disminución que no difiere significativamente entre las semanas de lactancia ( $P > .05$ ), Figura 2c, Tabla 6.

Las concentraciones de PT, ALB, GLOB y urea, se encuentran dentro de los rangos normales descritos por la literatura sobre vacas Holstein en lactancia bajo condiciones de la Sabana de Bogotá (Forero y Paba, 1985; Latorre et al., 1987; Rugeles, 1993). El aumento postparto de la concentración de PT, se debe a que la glándula mamaria cesa la captación de gammaglobulina, Williams y Millar, (1979) y posiblemente al reemplazo de proteínas, particularmente la albúmina de sus depósitos extravasculares, (Kaneiko, 1989). La caída del nivel de la ALB en el postparto no fue significativa y la concentración coincide con la mencionada por Herdt y Stevens, (1981) en su revisión de perfiles metabólicos de vacas lecheras. Debido a que el paso de inmunoglobulinas para la formación de calostro disminuye después del parto, la concentración de GLOB se recupera y tiende a la normalidad después de la tercera semana postparto. Las diferencias significativas entre las 3 primeras semanas frente a la octava y decimosegunda semana, suponen que los componentes de la fracción de GLOB no fueron sintetizados en su totalidad, lo que puede atribuirse a la alteración parcial de la síntesis de las fracciones Alfa y Beta, debido a la disfunción hepática ya mencionada. West, (1989) describe que la función hepática se altera temporalmente durante los primeros 15 días postparto. Sin embargo, en casos de movilización excesiva de AGL, se puede prolongar la alte-

ración de la función hepática varias semanas postparto.

En forma similar a lo descrito en esta investigación, Blum et al., (1983) y Kunz et al., (1985), demostraron que la urea disminuye normalmente en las primeras semanas postparto, posteriormente aumenta y permanece estable por el resto de la lactancia. Por el contrario, Tainturier et al., (1984), encuentran que la urea sérica después del parto aumenta significativamente en el primer mes y retorna a sus valores de la gestación en el segundo mes postparto, comportamiento que se asocia con el aumento del suministro de proteína en la ración. El incremento del nivel de urea a partir de la cuarta semana, se debe posiblemente a un exceso absoluto de proteína en la dieta (Dehning, 1988), acompañado de un incremento en el consumo de materia seca.

De otra parte, se observa que la concentración de BT se encuentra en el rango fisiológico, según lo descrito por Dehning, (1988) para vacas lecheras en el postparto. Para la GGT no se observa cambio significativo e incluso ésta disminuye en las tres primeras semanas postparto. Las variables mencionadas anteriormente no sugieren ningún indicio de alteración de la función celular del hígado, pero la actividad de la ASAT al inicio de la lactancia, adquiere niveles patológicos indicando alteración de la función hepática.

Es posible que la elevada actividad de ASAT, sea consecuencia del balance negativo de energía durante el postparto en las vacas experimentales. Al analizar el balance de nutrientes de la ración utilizada (Tabla 1), se observa, que la dieta presenta una deficiencia en el aporte de nutrientes digestibles totales (NDT) y de energía neta para lactancia (ENL). Este factor, además del bajo consumo de materia seca que se encuentra en las vacas después del parto (Bell, 1995), desencadenan la movilización de reservas corporales, con el fin de compensar la alta demanda de nutrientes de la glándula mamaria (McNamara, 1991; Grummer, 1993). Si esta situación se mantiene, la vaca lechera entra en un estado de balance energético negativo (Bauman y Currie, 1980). Esta situación desencadena la movilización de lípidos y su acumulación en el hígado con la consecuente disfunción hepática. Gran parte de esta situación ha sido descrita ampliamente en la literatura, Marcos, (1980); Reid (1980); Herdt, (1988b); Dehning, (1988) West, (1989), y Grummer, (1995). Este comportamiento sugiere que al inicio de la lactancia, se presenta una gran carga metabólica sobre el hígado. West (1989), describe el

incremento de la BT y ASAT pero no el de la GGT durante las dos primeras semanas de lactancia y los relaciona con infiltración de grasa, indicando daño subclínico del hígado. Roberts y Reid, (1986), asocian la infiltración de grasa del hígado con alta concentración de BT y ASAT.

Con el fin de establecer el verdadero estado de la función hepática de las vacas de esta investigación, se utilizó la ecuación de regresión desarrollada por Reid et al., (1983) y Roberts y Reid (1986), que ayuda a predecir la presencia de hígado graso en las dos primeras semanas de lactancia, con base en la concentración de metabolitos sanguíneos. Aplicando la ecuación a los resultados de laboratorio, se determinó que aproximadamente el 50% de las vacas de este estudio con elevada actividad de ASAT, presentaron infiltración de grasa del hígado. Estos hallazgos son similares a los descritos por Acosta, (1986) quien detectó la presencia del síndrome del hígado graso en vacas lecheras de explotaciones de la Sabana de Bogotá. La literatura describe que ésta es una condición común en la vaca lechera en el postparto, particularmente en vacas con una elevada condición corporal al parto. Esta patología conduce a gran cantidad de complicaciones como cetosis, retención de placenta, endometritis, desplazamiento del abomaso, paresis del parto, baja respuesta inmune y alteración de la fertilidad (McCormack, 1978; Bogin et al., 1988; Van Den Top et al., 1995).

Si se toma como base la actividad de ASAT en el postparto, se puede pensar que en las vacas de este trabajo la disfunción hepática se mantiene alterada por largo tiempo, posiblemente como consecuencia del bajo aporte de energía en la ración. West, (1989), menciona que la función hepática de la vaca lechera alimentada según sus requerimientos de producción, se altera temporalmente luego del parto, pero después de 2 semanas postparto la funcionalidad del hígado retorna a la normalidad.

#### *Cambios metabólicos con relación al número de lactancias*

En las Tablas 7 y 8 se presentan los valores medios de los indicadores de función hemática y hepática por número de lactancias para la gestación, el parto y la lactancia. No se encontró efecto significativo del número de lactancias en los valores de BT, AST, GGT, HB y CHCM ( $p < .05$ ).

Las vacas de primera lactancia tuvieron la concentración más baja de PT, ALB, GLOB y urea. En las vacas de primer parto la concentración de PT en el momento

**Tabla 7.** Valores medios de mínimos cuadrados para indicadores de función hemática con relación al número de lactancias.

| n                | NÚMERO DE LACTANCIAS |           |         |         |           |             |
|------------------|----------------------|-----------|---------|---------|-----------|-------------|
|                  | 1                    | 2         | 3       | 4       | 5         | 6           |
|                  | 78                   | 68        | 94      | 62      | 79        | 42          |
| Hematocrito %    | 34.45 a,b*           | 32.86 c   | 35.18 a | 32.90 c | 33.39 b,c | 34.06 a,b,c |
| E.E.             | .29                  | .41       | .27     | .47     | .31       | .49         |
| Hemoglobina g/dl | 11.95 a              | 11.47 a   | 12.05 a | 11.52 a | 11.52 a   | 11.66 a     |
| E.E.             | .13                  | .13       | .12     | .14     | .13       | .20         |
| V.C.M. fl        | 56.80 a              | 58.10 b,c | 63.08 a | 62.55 a | 60.85 a,b | 62.07 a     |
| E.E.             | .73                  | .98       | .69     | 1.08    | .90       | .95         |
| H.C.M. pg        | 19.64 a              | 20.19 b,c | 21.52 a | 21.93 a | 21.02 a,b | 21.09 a,b   |
| E.E.             | .19                  | .24       | .19     | .38     | .29       | .28         |
| C.H.C.M. g/dl    | 34.79 a              | 35.11 a   | 34.31 a | 35.00 a | 34.57 a   | 34.13 a     |
| E.E.             | .27                  | .38       | .25     | .44     | .33       | .41         |
| Hierro umol/l    | 23.23 a              | 21.98 a   | 21.92 a | 17.91 b | 24.33 a   | 22.56 a     |
| E.E.             | .52                  | .54       | .52     | .50     | .60       | .81         |

\* Promedios dentro de una misma fila con diferente superíndice presentan diferencias significativas (P<.05)

EE : Error estándar

V.C.M. : Volumen corpuscular medio

H.C.M. : Hemoglobina corpuscular media

C.M.H.C. : Concentración de hemoglobina corpuscular media

**Tabla 8.** Valores medios de mínimos cuadrados para indicadores de función hepática con relación al número de lactancias.

| N                   | NÚMERO DE LACTANCIAS |           |           |           |          |           |
|---------------------|----------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
|                     | 1                    | 2         | 3         | 4         | 5        | 6         |
|                     | 72                   | 54        | 68        | 40        | 61       | 39        |
| Bil. total mg/dl    | .40 a,b*             | .30 c     | .34 a,b,c | .29 c     | .42 a    | .31 b,c   |
| E.E.                | .02                  | .02       | .02       | .02       | .02      | .03       |
| A.S.A.T. U/L        | 60.72 a,b            | 61.57 a,b | 64.21 a,b | 64.26 a,b | 66.44 a  | 56.53 b   |
| E.E.                | 1.62                 | 2.31      | 2.55      | 2.55      | 1.95     | 1.91      |
| G.G.T. U/L          | 16.80 a,b            | 14.19 a,b | 15.32 a   | 20.88 a   | 14.89 b  | 18.43 a,b |
| E.E.                | .86                  | .92       | .54       | .09       | .67      | 1.13      |
| Proteína total g/dl | 6.36 b               | 7.30 a    | 7.35 a    | 7.61 a    | 7.20 a   | 7.46 a    |
| E.E.                | .09                  | .10       | .08       | .10       | .10      | .18       |
| Albumina g/dl       | 3.05 b               | 3.53 a    | 3.50 a    | 3.55 a    | 3.33 a,b | 3.24 a,b  |
| E.E.                | .06                  | .09       | .07       | .05       | .07      | .09       |
| Globulinas g/dl     | 3.34 c               | 3.76 b,c  | 3.83 a,b  | 3.86 a,b  | 3.86 a   | 4.21 a    |
| E.E.                | .09                  | .10       | .08       | .12       | .09      | .15       |
| Urea mg/dl          | 23.03 b              | 32.62 a   | 32.55 a   | 33.77 a   | 33.77 a  | 33.33 a   |
| E.E.                | .78                  | .70       | .87       | .97       | .79      | 1.50      |

\* Promedios dentro de una misma fila con diferente superíndice presentan diferencias significativas (P<.05)

EE : Error estándar

A.S.A.T. : Aspartato amino transferasa

G.G.T. : Gamma glutamil tranferasa

**Tabla 9.** Coeficientes de correlación de Pearson entre variables de función y número de lactancias en diferentes estados fisiológicos

| Variable              | ESTADO FISIOLÓGICO   |                      |        |                            |                          |                            |
|-----------------------|----------------------|----------------------|--------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
|                       | 5-6 mes de gestación | 7-8 mes de gestación | Parto  | 1-2-3 semanas de lactancia | 4-8 semanas de lactancia | 12-16 semanas de lactancia |
| Hematocrito           | -.25**               | -.12ns               | .21ns  | -.05ns                     | .05ns                    | ..14ns                     |
| Hemoglobina           | -.37**               | -.14ns               | .25ns  | -.08ns                     | .01ns                    | .17ns                      |
| V.C.M. <sup>a</sup>   | .14ns                | .25*                 | .22ns  | .21*                       | .25*                     | .47**                      |
| H.C.M. <sup>b</sup>   | .10ns                | .27*                 | .29ns  | .22ns                      | .20ns                    | .51**                      |
| C.M.H.C. <sup>c</sup> | -.10ns               | -.08ns               | .11ns  | -.05ns                     | -.10ns                   | .03ns                      |
| Hierro                | -.51**               | -.05ns               | .16ns  | .15ns                      | .10ns                    | -.03ns                     |
| Proteína total        | .59**                | .43**                | .27ns  | .22*                       | .22ns                    | .14ns                      |
| Albumina              | .30*                 | .12ns                | .13ns  | .02ns                      | -.03ns                   | .004ns                     |
| Globulina             | .48*                 | .49**                | .24ns  | .26*                       | .19ns                    | .16ns                      |
| Urea                  | .31ns                | .015ns               | .58ns  | .69*                       | .43*                     | .28ns                      |
| Bilirrubina total     | -.05ns               | -.04ns               | .05ns  | .02ns                      | -.12ns                   | -.09ns                     |
| A.S.A.T. <sup>d</sup> | -.10ns               | -.08ns               | .38ns  | .23ns                      | -.05ns                   | .16ns                      |
| G.G.T. <sup>e</sup>   | .13ns                | .14ns                | -.18ns | .07ns                      | -.09ns                   | .02ns                      |

ns : No significativo, (P>.05)

\* P<.05

\*\*P<.01

a: Volumen corpuscular medio

b: Hemoglobina corpuscular media

c: Concentración media de hemoglobina corpuscular

d: Aspartato amino transferasa

e: Gamma glutamil tranferasa

del parto disminuyó a 5,5 g/dL y se mantuvo por debajo de 7,0 g/dL hasta el segundo mes de lactancia. En vacas de tercera lactancia el HTO fue significativamente mayor que el de vacas de segunda, cuarta y quinta lactancia (P<.05). Así mismo, en estos animales el VCM y HCM fueron significativamente mayores que los de las vacas de primera y segunda lactancia (P<.05) Tabla 7. Las vacas de cuarta lactancia presentaron significativamente el valor más bajo de Fe en comparación con el de vacas de otros grupos de edad (P<.05) Tabla 7.

La Tabla 9 presenta los coeficientes de correlación de Pearson entre variables de función orgánica y el número de lactancias. Se demostró que al final de la gestación hubo fuerte asociación positiva entre el número de lactancias, la PT (r: .43, P<.01), y GLOB (r: .49, P<.01). Para la lactancia se encontró alta correlación positiva entre el número de lactancias VCM (r: .47, P<.01), HCM (r: .51, P<.01) y urea (r: .43, P<.05).

Un factor importante del efecto del número de lactancias en las variables evaluadas, fue su alta correlación con la edad de la vaca (r= .9, P<.0001), indi-

cando un efecto directo de la edad en los parámetros de función orgánica.

Las diferencias en HTO, VCM, HCM, PT, ALB y GLOB asociadas a la edad, son normales y se han demostrado ampliamente (Tumbleton et al., 1973; Schalm et al., 1975; Kitchenhan y Rowlands, 1976; Peterson y Waldern, 1981; Roussel et al., 1982; Doornenbal et al., 1988). La modificación de los indicadores de función hemática es el resultado del cambio en las demandas de oxígeno para mantener un elevado metabolismo en animales en crecimiento y a la dinámica del volumen sanguíneo. De otra parte, la tendencia a los bajos niveles de PT y especialmente ALB en vacas de primer parto, se puede explicar por sus altas tasas de deposición de proteína tisular, ya que la novilla generalmente, cuando alcanza su primer parto, habitualmente se encuentra en su fase final de crecimiento corporal. También la baja concentración de GLOB en vacas de primer parto coincide con reportes previos (Kitchenhan y Rowlands, 1976; Ingraham y Kappel, 1988), y se debe principalmente a los bajos niveles de la fracción de gammaglobulinas (Tumbleton et al., 1973), valores que dependen di-

rectamente de las experiencias antigénicas del individuo a lo largo de su vida (Schulze y Goildl, 1991); de esta forma, las vacas de primer parto por ser individuos que no han sido expuestos por un largo período de tiempo a los antígenos ambientales, demuestran bajos niveles de GLOB.

De otro lado, se ha observado la baja concentración de urea en vacas de primer parto (Blum et al., 1983) lo que puede indicar diferencias normales en el consumo de proteína, ya que la concentración de urea en vacas de 2 y más lactancias es superior, debido a que los requerimientos de nitrógeno son elevados para soportar la mayor producción de leche en este grupo de animales.

### Conclusiones

En la vaca lechera la fase de transición entre la gestación, el parto y el inicio de la lactancia, ocasiona cambios apreciables en la función hemática y hepática, en procura de mantener el aporte de nutrientes al feto e iniciar y mantener la producción de leche. En la gestación los cambios son normales y se observan principalmente en las variables hematológicas, como consecuencia de

la alta demanda de oxígeno para el metabolismo fetal y al ambiente de hipoxia al cual están sometidos los animales. El parto, estado de gran estrés, modifica normal y temporalmente los componentes hematológicos y protéicos. Con el inicio de la lactancia se presentaron cambios patológicos de la función hepática. En esta investigación se confirma la magnitud de los ajustes fisiológicos en la fase de transición y la presencia de alteración de la función hepática después del parto. La información presentada puede ser utilizada como referencia del comportamiento fisiológico de la vaca lechera durante la fase de transición en condiciones de la Sabana de Bogotá. También sirve de base para la detección de animales propensos a presentar enfermedades metabólicas y desbalances nutricionales y ayuda al reconocimiento de las limitantes medioambientales, en la eficiencia productiva de animales en condiciones tropicales y de altura.

#### AGRADECIMIENTOS

Al doctor Rafael Neira por su asesoría científica, a la doctora Marta Carpintero, por la capacitación en técnicas de laboratorio, al doctor Andrés Correa, por su apoyo en el trabajo de campo, a los señores Julio González, Lucio Salazar y Luis Alberto Pérez, por su asistencia técnica en campo y laboratorio, al Doctor Roberto Hurtado, propietario y al personal de la finca Tibabuyes en Tenjo Cundinamarca, por facilitar los animales y por el apoyo en el trabajo de campo.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, P.D.A. 1986.** Detección del síndrome del hígado graso en vacas de leche. Tesis Médico Veterinario. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Alan W. B. 1995.** Regulation of Organic Nutrient Metabolism During Transition from Late Pregnancy to Early Lactation. *J. Anim. Sci.* 73 :2804-2819.
- Alejo, O.; Schoeder, H.; Mogollón, J.D. 1984.** Estudio de un perfil metabólico patrón de vacas Holstein de la Sabana de Bogotá que se encuentran en período de lactancia. Tesis Médico Veterinario. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Anderson, P.H.; Matthews, J.G.; Berrett, S.; Brush, P.J.; Patterson, D.S.P. 1981.** Changes in plasma enzyme activities and other blood components in response to acute and chronic liver damage in cattle. *Res. Vet. Sci.* 31: 1-4.
- Annexstad, R.J.; Otterby, D.E.; Linn, J.G.; Hansen, E.P.; Solderholm, C.G.; Wheaton, J.E. 1990.** Somatotropin treatment for a second consecutive lactation. *J. Dairy Sci.* 73: 2423.
- Battaglia, F.C.; Meschia, G. 1978.** Principal substrates of fetal metabolism. *Physiol. Rev.* 58(2): 499-527.
- Bauman, D.E.; Currie, B. 1980.** Partitioning of nutrients during pregnancy and lactation: A review of mechanisms involving homeostasis and homeorhesis. *J. Dairy Sci.* 63(9) : 1514-1529.
- Bauman, D.E.; Peel, C.J.; Steinhour, W.D.; Reynolds, P.J.; Tyrrell, H.F.; Brown, A.C.G.; Haaland, G.L. 1988.** Effect of bovine somatotropin on metabolism of lactating dairy cows: influence on rates of irreversible loss and oxidation of glucose and nonesterified fatty acids. *J. Nutr.* 118:1031.
- Bell, A.W. 1995.** Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation. *J. Animal Sci.* 73: 2804-2819.
- Besser, T.E.; Gay, C.C. 1994.** The importance of colostrum to the health of the neonatal calf. *Vet. Clin. North Am. Food Animal Practice* 10: 107-117.
- Blum, J.W.; Kunz, P.; Leuenberger, H. 1983.** Thyroid hormones, blood plasma metabolites and haematological parameters in relationship to milk yield in Dairy Cows. *Anim. Prod.* 36: 93-104.
- Bogin, E.; Avidar, Y.; Merom, M.; Suback, S.; Brenner, G. 1988.** Biochemical changes associated with the fatty liver syndrome in cows. *J. Comparative Path.* 98: 337-347.
- Burton, J.L.; McBride, B.W.; Kennedy, B.W.; Burton, J.H.; Elsasser, T.H.; Woodward, B. 1992.** Hematological profiles in Dairy Cows treated with recombinant bovine somatotropin. *J. Anim. Sci.* 70: 1488-1495.
- Campbell, R.M.; Fell, B.F. 1970.** Observations of hypertrophy of the liver in breeding ewes. *Res. Vet. Sci.* 11: 540.
- Cardozo, J.A.; Hernández, A.; Díaz, F. 1994.** Estrous cycle characteristics and blood progesterone levels in Holstein heifers under altitude and tropical conditions in Colombia. *Tropicultura.* 12: 148-151.
- Carlson, G.P. 1989** Fluid, electrolyte and acid-base balance. In: *Clinical Biochemistry of domestic animals.* Fourth edition. Editor J.J. Kaneko. Academic Press Inc. San Diego California, USA, pp: 543-575.
- Clark, J.H.; Davis, C.L. 1983.** Future improvement of milk production: Potential for nutritional improvement. *J. Anim. Sci.* 57(3): 750-764.
- Chilliard, Y.; Cisse, M.; Lefavre, R.; Remond, B. 1991.** Body composition of dairy cows according to lactation stage, somatotropin treatment, and concentrate supplementation. *J. Dairy Sci.* 74(9): 3103-3116.
- Coles, E.H. 1986.** Veterinary clinical pathology. De. Saunders, Philadelphia, USA. p: 61.
- Cornelius, C.E. 1989.** Liver function. In: *Clinical Biochemistry of Domestic Animals.* Fourth Edition. Editor J.J. Kaneko. Academic Press Inc. San Diego, California, USA. pp: 364-397.
- Dehning, R. 1988.** Diagnóstico y mejoramiento de la fertilidad en el hato. CICADEP. Series Monográficas No.2. 53p.
- Doornenbal, H.; Tong, A.K.W.; Murray, N.L. 1988.** Reference values of blood parameters in beef cattle of different ages and stages of lactation. *Can. J. Vet. Res.* 52(1): 99-105.
- Edmonson, A.J.; Lean, I.J.; Weaver, L.D.; Farver, T. and Webster, G. 1989.** A Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 72: 68-78.
- Eley, D.S.; Thatcher, W.W.; Head, H.H.; Collier, R.J.; Wilcox, C.J. 1981.** Periparturient endocrine changes of conceptus and maternal units in Jersey cows bred for milk yield. *J. Dairy Sci.* 64(2): 296-311.
- Esievo, K.A.N.; Moore, W.E. 1979.** Effects of Dietary protein and stage of lactation on the haematology an erythrocyte enzymes activities of high-producing dairy cattle. *Res. Vet. Sci.* 25: 53-58.
- Fawcett, J.K.; Scott, J.E. 1960.** A rapid and precise method for the determination of urea. *J. Clinical Path.* 13: 156.
- Ferrell, C.L.; Ford, S.P. 1980.** Blood flow, steroid secretion and nutrient uptake of the

gravid bovine uterus. *J. Anim. Sci.* 50(6): 1113-1121.

**Ferrell, C.L.; Ford, S.P.; Prior, R.L.; Christenson, R.K. 1983.** Blood flow, steroid secretion and nutrient uptake of the gravid bovine uterus and fetus. *J. Anim. Sci.* 56(3): 656-667.

**Ferrell, C.L. 1991.** Maternal and fetal influences on uterine and conceptus development in the cow: 2. Blood flow and nutrient flux. *J. Anim. Sci.* 69: 1954-1965.

**Flórez, H. 1993.** Evaluación de la función hemática y hepática y su relación con producción de leche y fertilidad de vacas lecheras. Tesis Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Universidad Nacional de Colombia, Santa Fe de Bogotá. Colombia 242p.

**Forero, R.; Paba, L. 1985.** Consideraciones prácticas de los perfiles metabólicos. Tesis Médico Veterinario. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá.

**Furugouri, K.; Miyata, Y.; Shijimaya, K. 1982.** Ferritin in blood serum of dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 65(8): 1529-1534.

**Gómez, C.J.; Schoeder, H.; Cotrino, V. 1983.** Estudio de un perfil metabólico patrón en vacas lecheras de la Sabana de Bogotá durante el período horro y el último tercio de gestación. Tesis Veterinario. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Universidad Nacional de Colombia, Santa Fe de Bogotá. Colombia

**Grummer, R.R. 1993.** Etiology of lipid related to metabolic disorders in periparturient Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 76: 3882.

**Grummer, R.R. 1995.** Impact of changes in organic nutrient metabolism on feeding the transition dairy cow. *J. Animal Sci.* 73: 2820-2833.

**Guerrero, G.M.T. 1982.** Estudios hematimétricos en novillas Holstein Friesian de 16 a 30 meses de edad. Tesis Médico Veterinario. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá, Colombia.

**Hang-Poung, F. 1989.** The relationship between the seasonal serum biochemical profile and reproductive performance in perinatal Holstein cows. *Taiwan J. Vet. Anim. Husb.* 54: 1-20.

**Henry, R.J.; Cannon, D.C.; Winkelman, J.N. 1974.** Clinical chemistry, principles and technics. Second edition. Harper and Row. Editors. New York, USA. pp: 681-695.

**Herd, J.H.; Stevens, J.B. 1981.** Dairy herd metabolic profile testing. *Comp. Cont. Ed. Prac. Vet.* 3(1): 32-43.

**Herd, T.H.; Gerloff, B.J.; Lieseman, J.S.; Emery, R.S. 1982.** Hepatic lipidosis and liver function in 49 cows with displaced abomasums. In: Proc. XIIIth World Congr.

Dis. Cattle. Vol. i World Assoc. Buiatr., Amsterdam, The Netherlands. P 522.

**Herd, T. 1988a.** Fuel homeostasis in the ruminant. *Vet. Clin North Am. Food Animal Practice* 4(2): 213-231.

**Herd, T.H. 1988b.** Fatty liver in Dairy Cows. *Vet. Clin. North Am. Food Animal Practice* 4(2): 269-287.

**Hock, R. 1970.** The physiology of high altitude. In: Responses to the physical environment. 103-111. USA.

**Holter, J.B.; Urban, W.E. 1992.** Water partitioning and intake prediction in dry and lactating Holstein. *J. Dairy Sci.* 75(6): 1472-1479.

**Husveth, F.; Karsai, F.; Gaal, T. 1982.** Periparturient fluctuations of plasma and hepatic lipid components in Dairy Cows. *Acta Vet. Acad. Sci. Hung.* 30: 97-112.

**Ingraham, R.H.; Kappel, L.C. 1988.** Metabolic profile testing. *Vet. Clin. North Am.* 4(2): 391-411.

**Jain, N.C. 1993.** Essentials of Veterinary Hematology. Lea Febiger. Philadelphia. USA.

**Johnson, H.D.; Vanjonack, W.J. 1976.** Effects of environmental and stressors on blood hormone patterns in lactating animals. *J. Dairy Sci.* 59: 1603-1617.

**Jones, C.T.; Rolph, T.P. 1985.** Metabolism during fetal life: A functional assessment of metabolic development. *Physiol. Rev.* 65(2): 354-430.

**Junid, M.; Krad, H. 1987.** Studies into some blood parameters of dairy cattle (Holstein-Friesian) in Syria during and beyond pregnancy (brief- communication). *Monatsh. Veterinaarmed.* 42: 700. (Abst).

**Kaneko, J. J. 1989.** Clinical biochemistry of domestic animals. Academic press. Inc. San Diego, California. 142-165.

**Kappel, L.C.; Ingraham, R.H.; Morgan, E.B.; Babcock, D.K. 1984.** Plasma and packed cell volume and their relationships to fertility and milk production in Holstein Cows. *Am. J. Vet. Res.* 45(2): 346-350.

**Kitchenham, B.A.; Rowlands, G.L.; Shorbagi, H. 1975.** Relationships of concentrations of certain blood constituents with milk yield and age of Cows in Dairy herds. *Res. Vet. Sci.* 18(3): 249-252.

**Kitchenham, B.A.; Rowlands, G.L. 1976.** Differences in the concentrations of certain blood constituents among cows in a dairy herd. *J. Agric. Sci. Camb.* 86: 171-179.

**Kunz, P.L.; Blum, J.W.; Hart, I.C.; Bickel, H.; Landis, J. 1985.** Effects of different energy intakes before and after calving on food intake performance and blood hormones and metabolites in dairy cows. *Anim. Prod.* 40: 219-231.

**Latorre, S.R.; Saravia K.G.; Yepes, G.G.; Valenzuela, R.R. 1987.** Medicina de la producción láctea, establecimiento de los valores normales bioquímicos y hemáticos

en el parto, posparto y con relación con la producción en bovinos estabulados de la Sabana de Bogotá. Tesis Médico Veterinario. Facultad de Medicina Veterinaria. Universidad de la Salle. Santa Fe de Bogotá. Colombia.

**Little, W.; Sansom, B.F.; Manston, R.; Allen, W.M. 1984.** Importance of water for health and productivity of the dairy cow. *Res. Vet. Sci.* 37: 283-289.

**Lotthammer, K.H. 1981.** Desórdenes de salud general y fertilidad en ganado de leche; los exámenes clínico-químicos herramienta valiosa en el diagnóstico del hato (clarificación de causas). *Tieraerztl. Prax.* 9: 541-551. Traducción.

**Marcos, E.R. 1980.** Determinación de parámetros sanguíneos relacionados con el funcionamiento hepático en ganado lechero. 1. Colesterol total y transaminasa glutámico Paroxalacética. *Gac. Vet. Bs. As.* 42: 537-545.

**McCormack, J. 1978.** Fat cow syndrome and its complications. *Vet. Med. Small Anim. Clin.* 73: 1057-1060.

**McNamara, J.P. 1991.** Regulation of adipose tissue metabolism in support of lactation. *J. Dairy Sci.* 74(2): 706-719.

**Mephram, T.B. 1982.** Aminoacid utilization by lactating mammary gland. *J. Dairy Sci.* 65(2): 287-298.

**Miltenburg, G.A.J.; Wensing, T.; Van Vliet, J.P.M.; Schuijt, G.; Van de Broek, J.; Breukink, H.J. 1991.** Blood hemoglobin, plasma iron, and tissue iron in dams in late gestation, at calving, and in veal calves at delivery and later. *J. Dairy Sci.* 74: 3086-3094.

**Miyada, D.C.; Baysinger, V. 1972.** Albumin quantification by dye binding and salt fractionation techniques. *Clin. Chem.* 18: 52-56.

**Mulvany, P. 1981.** Dairy cow condition scoring. Handout No 4468. Natl. Inst. Res. Dairying. Shinfield, Reading, U.K.

**NRC. 1988.** Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academic Press. Washington. pp: 78-86.

**Parker, B.N.J.; Blowey, R.W. 1976.** Investigation into the relationship of selected blood components to nutrition and fertility of the dairy cow under commercial farm conditions. *Vet. Rec.* 98: 394.

**Peterson, R.G.; Waldern, D.E. 1981.** Repeatibilities of serum constituents in Holstein-Friesians affected by feeding, age, lactation and pregnancy. *J. Dairy Sci.* 64(5): 822-831.

**Ramírez, G.; Bittle, P.A.; Colice, G.N.; Santacruz, R.; Hidalgo, A.; Noguera, I.; Agosti, S.J.; Foulis, P. 1992.** Blood biochemical characteristics of cattle at sea level and at moderately high altitude (3000 m). *Am. J. Vet. Res.* 53: 547-550.

**Reid, I.M. 1980.** Incidence and severity of

fatty liver in Dairy Cows. *Veterinary Record*. 107: 281-284.

**Reid, I.M., Rowlands, G.J., Dew, A.M., Collins, R.A., Roberts, C.J., Manston, R. 1983.** The relationship between post-parturient fatty liver and blood composition in dairy cows. *J. Agric. Sci. (Camb)*. 101: 473.

**Reynolds, L.P.; C.L. Ferrell; C.L., Robertson, D.A. and Ford, S. P. 1986.** Metabolism of the gravid uterus, foetus and uteroplacenta at several stages of gestation in Cows. *J. Agric. Sci.* 106:137.

**Reynolds, M. 1953.** Measurement of bovine plasma and blood volume during pregnancy and lactation. *American Journal of Physiology*. 175: 118-122.

**Roberts, C.J.; Reid, I.M. 1986.** Fat cow syndrome and subclinical fatty liver. In: Howard, J.L. (ed). *Current Veterinary Therapy, Food Animal Practice, Edition 2*. Philadelphia, W.B. Saunders. pp 324-326.

**Roussel, J.D.; Aranas, T.T.; Seybt, S.H. 1982.** Metabolic profiles testing in Holstein cattle in Louisiana: Reference values. *Am. J. Vet. Res.* 43(9): 1658-1660.

**Rowlands, G.J.; Manston, R.; Pocock, R.M.; Dew, S.M. 1975.** Relationships between stage of lactation and pregnancy and blood composition in a herd of dairy cows and the influences of seasonal changes in management on these relationships. *J. Dairy Res.* 42: 349-362.

**Rugeles, C. 1993.** Efecto de la gestación, producción y lactancia sobre el eritrograma, el metabolismo mineral, energético y proteico en vacas Holstein de la Sabana de Bogotá. Tesis de Maestría. Posgrado en Salud y Producción Animal. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá. Colombia.

**Schalm, O.W.; Jain, N.C.; Carrol, E.J. 1975.** *Veterinary Hematology*. 3rd. Edition. Philadelphia. Lea & Febiger. 122, 1136.

**Schulze, D.H.; Goidl, E.A. 1991.** Age-Associated changes in antibody-forming cells (B: Cells). *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 196(3): 253-259.

**Shalit, U.; Maltz, E.; Silanikove, N.; Berman, A. 1991.** Water, sodium, potassium and chlorine metabolism of dairy cows at the onset of lactation in hot weather. *J. Dairy Sci.* 74(6): 1874-1883. (Abst).

**Sloss, V.; Dufty, J.D. 1980.** *Handbook of Bovine Obstetrics* Baltimore/London. Willians & Wilkins. 30-80.

**Smith, J.E. 1989.** Iron metabolism and its diseases. In: Kaneko, J.J. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. Academic Press. Inc. San Diego, California U.S.A. pp256-273.

**Stevens, J.B. 1980** Metabolic profile testing. In: *Bovine Medicine and Surgery*. 2nd. ed. American veterinary publications, Santa Barbara, California . pp597-614.

**Stock, M.K.; Metcalfe, J. 1994.** Maternal Physiology During Gestation. 947-983. In: Knobil, E.; Neill, J.D. *The physiology of reproduction*. Second edition. Raven Press Ltd. New York.

**Tainturier, D. 1984** Variations in blood composition in dairy cows during pregnancy and after calving. *Res. Vet. Sci.* 37: 129-131.

**Tumblason, M.E.; Burks, M.F.; Wingfield, W.E. 1973.** Serum protein concentrations as a function of age, in female dairy cattle. Aging and serum proteins. *Cornell Vet.* 68: 65-71.

**Uhlig, A.; Schafer, M.; Johansen, U. 1988.** Studies into peripartal liver function in dairy cows. 2. Changes in laboratory diagnostic values in relation to liver function. *Arch. Exp. Vet.* 42(1): 108-117. (abst).

**Van Den Top, A.M.; Wensing, T.; Geelen, M.J.H.; Wentink, G.H.; Van 't Klooster, A.T.; Beynen, A.C. 1995.** Time trends of plasma lipids and enzymes synthesizing hepatic triacylglycerol during postpartum development of fatty liver in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78: 2208-2220.

**West, H.J. 1989.** Liver function of dairy cows in late pregnancy and early lactation. *Res. Vet. Sci.* 46(2): 231-237.

**Wildman, E.E.; Jones, G.M.; Wagner, P.E.; Boman, R. L.; Troutt, H.F.; Lesch, T.N. 1982.** A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *J. Dairy Sci.* 65: 495.

**Williams, M.R.; Millar, P. 1979.** Changes in serum Immunoglobulin levels in Jerseys and Friesians near calving. *Research in Veterinary Science*. 26: 81-84.

**Yousef, M.K. 1985.** Stress physiology: definition and terminology in stress physiology in livestock. Vol. 1 Basic principles. Ch 1 pp3. MK Yousef, ed. CRC press.