

## 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

Rubén D Galvis<sup>1</sup>, Zoot, MS; Héctor J Correa<sup>1</sup>, Zoot, MS; Nicolás F Ramírez<sup>2</sup> MV.

<sup>1</sup>Departamento de producción animal, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional, seccional Medellín; AA 9779.

<sup>2</sup>Escuela de medicina veterinaria, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Antioquia; AA 1226. rubengalvis@micorreopm.net.co

(Recibido: 28 mayo, 2003; aceptado: 9 septiembre, 2003)

### Resumen

*Con el fin de evaluar la influencia del balance nutricional sobre los indicadores del metabolismo energético y proteico y sobre la generación de insulina y del factor 1 insulinoide de crecimiento (IGF-1), se utilizaron 10 vacas Holstein, las cuales se muestrearon el día 12 preparto y los días 12, 24, 35 y 100 posparto (días en lactancia, DEL) para determinar los balance de energía neta de lactancia (EN<sub>L</sub>), proteína cruda (PC), proteína degradable en rumen (PDR) y proteína no degradable en rumen (PNDR), así como los cambios de peso. Adicionalmente se determinaron las concentraciones plasmáticas de urea (BUN), glucosa, colesterol total, amonio, β-OH butirato, ácidos grasos no esterificados (AGNE), insulina, IGF-1 y la actividad glutamato oxaloacetato transaminasa (AST). EN<sub>L</sub> y PC fueron positivos para el muestreo preparto. En el día 12 posparto EN<sub>L</sub> y PC fueron negativos, al día 35 posparto los valores de PC fueron cero o superiores mientras que para EN<sub>L</sub> solo se observaron valores positivos al día 100 posparto. Los DEL se relacionaron positivamente con EN<sub>L</sub> y PC. La producción de leche se relacionó negativamente con EN<sub>L</sub>, PC, PDR, PNDR. Los valores de glicemia e IGF-1 fueron significativamente más bajos en el posparto. Los valores promedio de cambio de peso, β-OH butirato, BUN, amonio e insulina plasmáticos no presentaron variaciones significativas entre periodos. Los valores de AST fueron significativamente más bajos en el preparto que en el posparto. Los valores más bajos de AGNE correspondieron en su orden al muestreo correspondiente al día 100 posparto y al muestreo preparto, coincidiendo con balances energéticos positivos. Se encontraron relaciones positivas entre colesterol y DEL, EN<sub>L</sub>, PC, PDR, PNDR; entre colesterol y glicemia; entre BUN y colesterol; entre glicemia y DEL. Se encontraron relaciones negativas entre la producción de leche y la insulina plasmática; entre EN<sub>L</sub> y AGNE; entre BUN y AST.*

**Palabras clave:** transición, metabolismo, metabolitos sanguíneos.

### Introducción

Los sistemas especializados de producción lechera en Antioquia presentan alta incidencia de problemas de tipo metabólico y nutricional, caracterizados estos últimos por deficiencias de energía y fibra y excesos de proteína cruda. Los últimos estudios descriptivos han sugerido la existencia de interacciones complejas entre el balance nutricional y las alteraciones metabólicas (14).

Los excesos de fertilización cambian radicalmente el balance de nutrientes de los pastos. Ha sido demostrado (6) que la adición de dosis crecientes de nitrógeno y dosis constantes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O tienen efecto sobre la densidad energética de la materia seca del forraje. En este trabajo (6) se observó que la producción total de materia seca, el nivel de proteína cruda, la digestibilidad y los niveles de energía se incrementaron a medida que se incrementaba el nivel de N, sin embargo

los valores de energía neta de lactancia y de energía metabolizable, calculados sobre la base del incremento en los valores de proteína y energía, decrecieron a medida que se incrementaron los niveles de fertilización nitrogenada. Otro autor (28), señala que las praderas sobre fertilizadas con nitrógeno pueden tener bajos niveles de carbohidratos fermentables (carbohidratos solubles (CS), fibra detergente neutra (FDN) y Pectina y que bajo estas condiciones el exceso de proteína no puede ser utilizado por los microorganismos ruminales.

Con niveles altos de proteína cruda y niveles bajos de carbohidratos fermentables se satura la capacidad de utilización del amoníaco por los microorganismos ruminales; el exceso de  $\text{NH}_3$  pasa a la sangre y es transportado hasta el hígado para ser convertido en urea.

Hibbitt y Haresign (17) observaron que los excesos de proteína produjeron efectos más severos sobre el metabolismo que las deficiencias de proteína, puesto que muchas de las condiciones clínicas similares a la disfunción hepática observadas en ganado lechero estuvieron asociadas con excesos de proteína.

Este tipo de alteraciones es más común en vacas en lactancia temprana consumiendo dietas con baja energía y alta proteína, en las que las reservas corporales son movilizadas a una tasa exagerada y en las cuales la frecuencia de esteatosis es mayor; además, el tipo de proteína y su digestibilidad pueden conducir a una excesiva producción de amonio y el subsiguiente riesgo de intoxicación con éste (20).

La primera fase de la lactancia coincide con condiciones metabólicas adversas originadas en el déficit energético ocasionado por los bajos consumos de energía y la alta producción lechera. El balance energético negativo (BEN) provoca cambios en las concentraciones de glucosa y de las hormonas relacionadas con el metabolismo intermediario de la energía (27).

En las vacas en lactancia temprana estos fenómenos son fisiológicos sugiriendo que estas pueden ser susceptibles a esteatosis e hipercetonemia al presentar bajos niveles de insulina (2). Dado que la glándula mamaria es capaz de utilizar glucosa con bajos niveles de insulina, y dadas las altas demandas de glucosa para la producción lechera, la toma de glucosa por la glándula mamaria afecta la glicemia, la cual debe estabilizarse por incremento en la tasa de gluconeogénesis,

así como por la disminución en las tasas de oxidación de la glucosa (22).

La capacidad de repuesta metabólica ante las bajas concentraciones de glucosa plasmática se puede ver disminuida debido a diversos factores adversos que coexisten en las vacas del sistema en estudio, tales como la exagerada movilización lipídica y el exceso de proteína cruda.

El propósito de este trabajo fue evaluar la influencia del balance nutricional sobre los indicadores del metabolismo energético y proteico y sobre las hormonas del metabolismo intermediario, insulina e IGF-1, bajo las condiciones típicas del sistema especializado de producción de leche en el norte de Antioquia.

## Materiales y métodos

### *Localización*

El trabajo de campo se llevó a cabo en la Ganadería La Montaña de la Universidad de Antioquia, ubicada a 2475 m.s.n.m., con una temperatura promedio de  $14^{\circ}\text{C}$  y una humedad relativa promedio de 79.7% en una formación ecológica de bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB).

### *Animales*

Se utilizaron 10 vacas Holstein que cursaban la segunda o la tercera lactancia, las cuales ingresaron al experimento entre el 17 de noviembre de 2000 al 1 de febrero de 2001. Se estimó el peso corporal con cinta métrica al día 12 preparto, (periodo 1); y a los 12 (periodo 2), 24 (periodo 3), 35 (periodo 4) y 100 días posparto (periodo 5), los cuales se constituyeron en los periodos de muestreo. Diariamente se registró la producción de leche y la suplementación alimenticia de cada vaca. Adicionalmente se utilizaron dos vacas secas canuladas en el rumen para la determinación de la degradabilidad de la materia seca y de la proteína cruda de la dieta.

### *Forraje y dieta*

Los animales pastorearon praderas de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Acorde con la producción de leche las vacas recibieron un suplemento comercial y adicionalmente en la fase final del experimento semilla de algodón.

### *Toma de muestras*

El experimento se realizó entre el 17 de noviembre de 2000 y el 20 de mayo de 2001. El forraje se muestreó acorde con la variación en la precipitación reportada para la zona, de esta forma resultaron dos muestras (kikuyo 1) y (kikuyo 2). Las muestras de forraje se tomaron siguiendo el método de Hang Plucking; tanto éstas como las de los suplementos alimenticios se secaron a 60°C y se conservaron hasta su análisis.

Se tomaron muestras de sangre de la vena yugular derecha con tubos al vacío (secos, con EDTA y con heparina), siempre entre las 10:00 y las 11:00 a.m. Las muestras fueron centrifugadas a 5000 rpm durante 10 minutos, se separó el suero, o el plasma, según el caso y se envasaron en alícuotas de 2.0 ml

### *Análisis químicos*

A las muestras de forraje y suplementos alimenticios se les determinó el contenido de cenizas (Cen), extracto etéreo (EE), PC y FDN por métodos descritos previamente (40), mientras que el contenido de carbohidratos no estructurales se estimó por diferencia (30).

Con los datos de FDN y utilizando ecuaciones reportadas (25, 29) se estimó el contenido de  $EN_L$  del forraje y de los suplementos alimenticios. El consumo de materia seca del forraje se estimó por diferencia, utilizando una ecuación propuesta por otros autores (30).

En las muestras de sangre se cuantificaron las concentraciones de urea, glucosa, colesterol total y la actividad de la enzima AST mediante el kit SERA – PAK<sup>®</sup> (Bayer; Tarrytown NY). Para estimar la concentración de amonio se utilizó el kit 171-UV (Sigma, St Louis MO), mientras que para la determinación de  $\beta$ -OH butirato se utilizó el kit 310-UV (Sigma, St Louis MO) y para los ácidos grasos no esterificados (AGNE) se utilizó el kit NEFA-C<sup>®</sup> 994-75409 E (Wako, Dallas TX). La concentración de insulina, IGF-1 y progesterona, se determinó mediante radioinmunoanálisis utilizando los kits (Diagnostic systems laboratories Inc, Webster TX) DSL-1600, DSL-5600 y DSL-3900, respectivamente.

En un trabajo previo (12) a las muestras de forraje y de los suplementos alimenticios se les determinó la degradabilidad ruminal de la materia seca y de la proteína cruda mediante la técnica *In situ* (15),

utilizando tiempos de incubación de 0, 2, 4, 8, 16, 24, 48 y 72 horas y usando dos bolsas para cada tiempo en cada uno de los dos animales dispuestos para este efecto. Para la determinación de la degradabilidad de la materia seca y de la proteína se utilizó el dato del residuo resultante de cada bolsa incubada.

### *Estimación de la proteína no degradable en rumen*

La fracción eliminada rápidamente por el lavado (a), la fracción degradable lentamente (b), la constante del ritmo de degradación de b (c), y la degradabilidad efectiva (P) se estimaron mediante metodologías descritas previamente (31). La proteína no degradable en rumen se calculó como la diferencia entre la proteína total y la proteína degradable en rumen.

### *Balance nutricional*

La estimación del balance para  $EN_L$ , PC, proteína degradable en rumen (PDR) y proteína no degradable en rumen (PNDR) se calculó por la diferencia entre los requerimientos estimados (40) y los aportes de la dieta consumida por cada animal durante cada muestreo, para tal efecto se utilizaron hojas de cálculo previamente elaboradas (10).

### *Análisis estadístico*

*Producción de leche, peso, cambio de peso de las vacas, indicadores metabólicos.* Se hicieron análisis de varianza para establecer la variación en función de los periodos de muestreo y se realizó la prueba de Duncan para establecer diferencias entre medias. Para ello se utilizó el PROC GLM del programa SAS (36).

*Degradabilidad ruminal.* El cálculo de las constantes a, b y c del modelo exponencial (32) se realizó mediante el programa Neway (35).

*Relación entre variables.* Mediante el ajuste de ecuaciones de regresión se establecieron relaciones entre el balance para  $EN_L$ , PC, PDR y PNDR, los días de lactancia y la producción de leche. De igual manera entre el balance para  $EN_L$ , PC, PDR, PNDR, los días de lactancia y la producción de leche con las concentraciones de insulina, IGF-1, amoníaco, urea, glucosa, ácidos grasos no esterificados (AGNE),  $\beta$ -OH butirato, colesterol y AST en sangre. Para ello se utilizó el PROC REG del programa estadístico SAS (36).

**Tabla 1.** Composición química de los alimentos utilizados en el estudio.

Parámetro	Kikuyo 1	Kikuyo 2	Semilla de algodón	Suplemento comercial
1. MS	14.00	16.00	88.00	88.00
PC, % de la MS	20.72	16.80	23.74	17.68
FDN, % de la MS	61.50	65.60	37.90	39.80
EE, % de la MS	1.69	1.76	23.48	6.70
Cen., % de la MS	9.80	10.10	4.50	11.36
CNE <sup>1</sup> , % de la MS	6.29	5.74	10.38	24.46

<sup>1</sup> CNE = hallados por diferencia (100 - (PC - FDN - Cen - EE)).

**Tabla 2.** Parámetros de cinética ruminal para la proteína de los alimentos utilizados en el estudio.

Parámetros de cinética ruminal	Kikuyo 1	Kikuyo 2	Semilla de algodón	Suplemento comercial
a <sup>1</sup>	19.40	18.90	31.00	29.80
b <sup>1</sup>	54.40	44.90	34.00	30.20
c <sup>2</sup>	6.68	5.74	12.20	10.80

<sup>1</sup> Como porcentaje de la proteína contenida en la materia seca.

<sup>2</sup> Porcentaje de degradación por hora.

## Resultados

### Características nutricionales de los alimentos utilizados

En la tabla 1 y en la tabla 2 respectivamente, se presentan la composición química y los parámetros de cinética ruminal del forraje y de los suplementos alimenticios.

Los contenidos de PC de los forrajes fueron diferentes entre las dos épocas de muestreo, esto coincidió con un periodo seco y uno lluvioso. El efecto del periodo sobre el contenido de PC y otras fracciones se vio influenciado más por la duración del periodo de descanso al que se sometieron las praderas en cada época que por el clima prevaleciente.

### Características de los animales utilizados

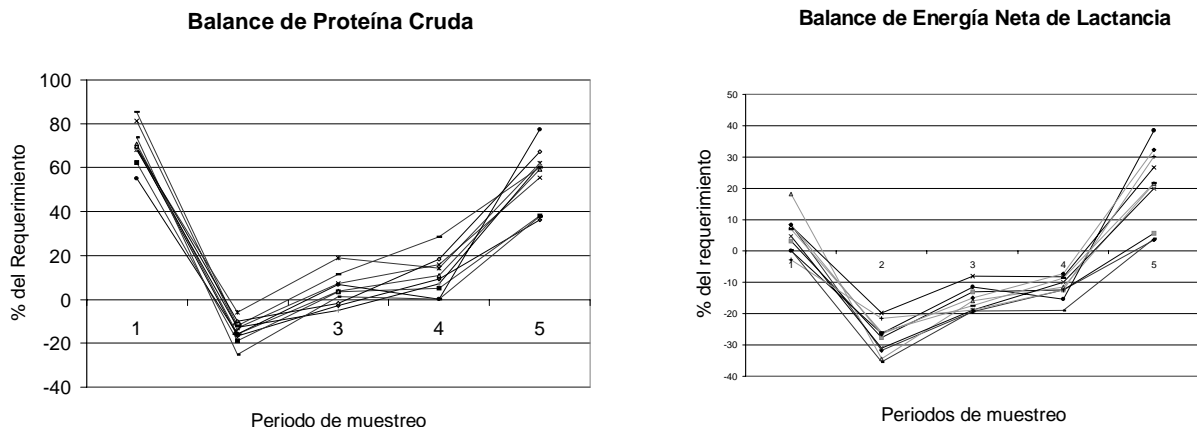
En la tabla 3 se consigna la variación en la producción de leche por periodos de muestreo. Como se puede apreciar, el comportamiento de la curva de lactancia no siguió la tendencia normalmente observada ya que no presentó un pico característico de producción. Por otro lado, la variación en la producción de leche fue mayor durante el primer muestreo (C.V. = 17.5%) en comparación a los restantes muestreos.

En la tabla 4 se presenta la variación en el cambio promedio de peso entre los muestreos posparto. No se presentó diferencia significativa en el cambio de peso entre periodos de muestreo.

### Balance nutricional

La figura 1 muestra la variación en el EN<sub>L</sub> y PC entre los periodos de muestreo. Como se puede observar el balance de energía y el de proteína fueron positivos para el muestreo preparto. En el día 12 posparto se pudo evidenciar un balance negativo tanto energético como proteico. Al día 35 posparto los balances de proteína fueron cero o superiores mientras que para el balance de energía solo se observaron valores de esta magnitud en el día 100 posparto, lo anterior pone en evidencia el desbalance energía-proteína a que se sometieron los animales.

En la tabla 5 se consignan los parámetros hallados para las relaciones entre DEL, EN<sub>L</sub> y el balance PC, los cuales se relacionaron positivamente.



**Figura 1.** Balances de energía y de proteína por periodos de muestreo y por vaca.

**Tabla 3.** Variación en la producción de leche en función de los muestreos.

Días en lactancia	Producción (kg/vaca/día)	Rango	Coefficiente de variación (C.V.)
$\bar{X} \pm DE$			
11.40 ± 0.97	27.90±4.90 a	38.00 – 20.00	17.50
24.20 ± 0.63	27.20±3.38 a	34.00 – 21.50	12.40
34.90 ± 0.32	26.60 ± 3.86 a	34.00 – 22.00	14.50
100.70 ± 483	17.50±2.46 b	20.40 – 12.50.	14.02

<sup>1</sup> Valores en la misma columna con letras diferentes son estadísticamente diferentes a p<0.05

**Tabla 5.** Ecuaciones de regresión lineal para el balance energético y proteico en función de los días en lactancia.

Variable dependiente	Intercepto	Pendiente	<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	<sup>2</sup> P
EN <sub>L</sub>	-30.84	0.52	0.87	<0.0001
PC	-17.56	0.74	0.88	<0.0001
PDR	-11.83	0.71	0.88	<0.0001
PNDR	-12.03	0.89	0.88	<0.0001

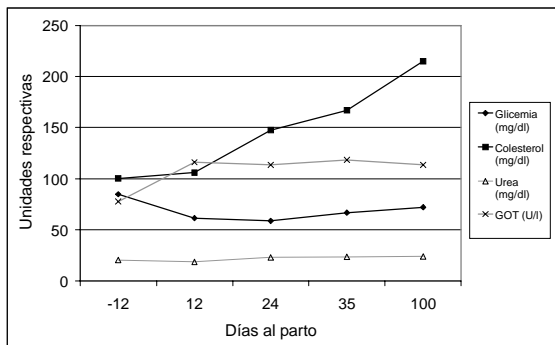
<sup>1</sup>Coefficiente de determinación.  
<sup>2</sup>Probabilidad de cometer el error tipo I

La tabla 6 consigna los parámetros para las relaciones entre EN<sub>L</sub>, PC, PDR, PNDR y la producción de leche. Como puede observarse todas las pendientes para estas relaciones fueron negativas.

*Indicadores metabólicos*

Los valores de glicemia fueron significativamente más altos en el periodo parto que en los muestreos posparto, luego del parto éstos aumentaron conforme avanzaba la lactancia. El colesterol plasmático presentó aumentos significativo conforme aumentaban los días en lactancia inclusive hasta el día 100 posparto. La concentración plasmática de nitrógeno ureico (BUN) y de amonio plasmático no presentaron variaciones significativas entre los periodos de muestreo.

La AST ha sido considerada un indicador de actividad hepática (14). En el presente trabajo se pudo



Medias con letra distinta son estadísticamente diferentes a p<0.05

**Figura 2.** Valores promedio de indicadores metabólicos por periodos de muestreo.

**Tabla 4.** Variación en el peso vivo y en el cambio de peso de las vacas en función de los muestreos

Días en lactancia	Peso vivo (Kg)	Rango	Desviación estándar (D.E.)	Coefficiente de variación (C.V.)
11.40 ± 0.97	558.70	666 - 435	61.85	11.07
24.20 ± 0.63	547.08	659 - 442	60.56	11.05
34.90 ± 0.32	540.40	637 - 442	53.85	9.96
100.70 ± 483	529.40	607 – 442	46.07	8.70
$\bar{X} \pm DE$				
Días posparto	Cambio de peso (Kg/día)	Rango	Desviación estándar (D.E.)	Coefficiente de variación (C.V.)
12 a 24	-0.861	1.00 a -2.64	1.27	121.36
24 a 35	-0.459	2.75 a -3.67	1.04	356.68
35 a 100	-0.190	0.10 a -0.57	0.22	117.36

**Tabla 6.** Ecuaciones de regresión lineal para el balance energético y proteico en función de la producción de leche.

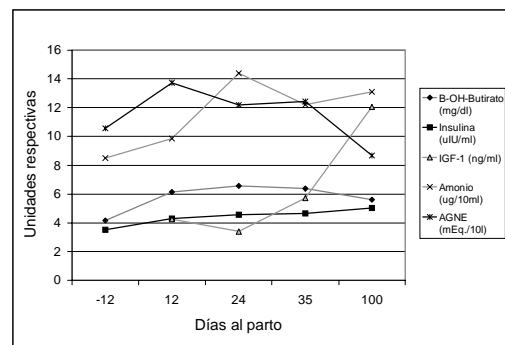
Variable dependiente	Intercepto	Pendiente	<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	<sup>2</sup> P
EN <sub>L</sub>	61.22	-2.82	0.66	<0.0001
PC	110.74	-3.90	0.63	<0.0001
PDR	107.67	-3.60	0.59	<0.0001
PNDR	144.98	-4.80	0.66	<0.0001

<sup>1</sup>Coefficiente de determinación.  
<sup>2</sup>Probabilidad de cometer el error tipo I

observar como los valores de AST fueron significativamente mas bajos en el parto (77.70 U/l) que en el posparto (entre 113.30 y 118.30 U/l) y sin variación significativa en el mismo. La concentración plasmática de AGNE difirió significativamente entre los periodos de muestreo.

En cuanto a los valores plasmáticos de insulina no se observaron diferencias significativas entre los periodos de muestreo. Los valores plasmáticos de IGF-1 fueron significativamente más bajos en el parto que en el posparto. En el posparto los valores de IGF-1 se incrementaron conforme aumentaron los días en lactancia.

La figura 2 y la figura 3 ilustran la variación entre metabolitos y hormonas por periodos de muestreo.



Medias con letra distinta son estadísticamente diferentes a p<0.05

**Figura 3.** Valores promedio de indicadores metabólicos y de hormonas por periodos de muestreo.

**Tabla 7.** Ecuaciones de regresión que relacionan los indicadores metabólicos con la producción, los días en lactancia y los balances energéticos y proteicos.

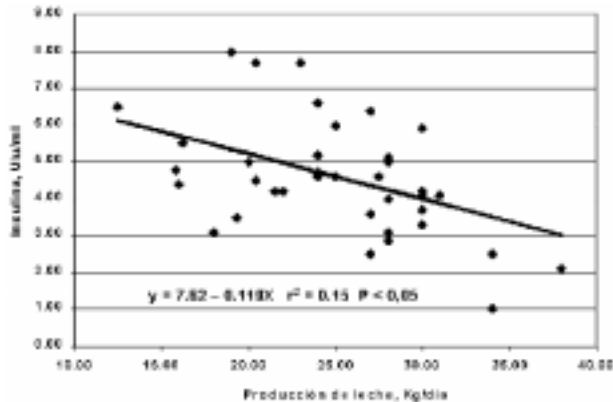
Variable independiente.	Variable dependiente.	Intercepto	Pendiente	<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	<sup>2</sup> P
Producción leche	Insulina	7.67	-0.1223	0.16	<0.05
Producción leche	EN <sub>L</sub>	61.22	-2.82	0.66	<0.0001
Producción leche	Colesterol	253.37	-3.80	0.18	<0.05
DEL	Colesterol	113.19	1.07	0.58	<0.0001
DEL	Glicemia	59.06	0.13	0.01	<0.10
EN <sub>L</sub>	Colesterol	174.00	1.72	0.46	<0.0001
PC	Colesterol	141.82	1.22	0.47	<0.0001
PDR	Colesterol	135.23	1.30	0.48	<0.0001
PNDR	Colesterol	133.10	0.10	0.45	<0.0001
EN <sub>L</sub>	AGNE	0.1078	-0.0011	0.20	<0.005

<sup>1</sup>Coefficiente de determinación.

<sup>2</sup>Probabilidad de cometer el error tipo I

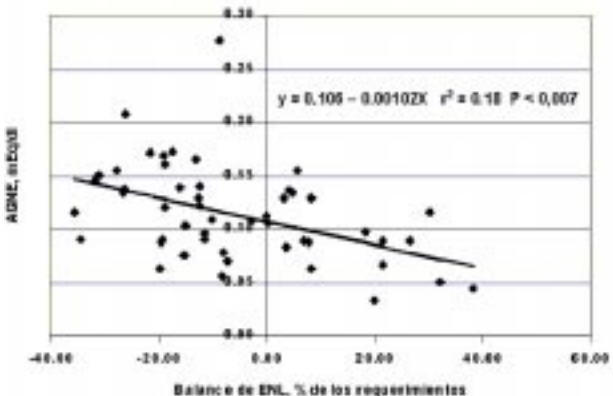
*Relaciones entre el balance nutricional y los indicadores metabólicos.* Las relaciones que resultaron significativas entre los balances para PC, EN<sub>L</sub>, PNDR, PDR, DEL, producción de leche y los indicadores metabólicos se presentan en la tabla 7.

El contenido de colesterol en la sangre se constituyó en el mejor indicador del estado nutricional de los animales. Al contrario, el contenido de urea en la sangre no estuvo relacionado estadísticamente con ninguno de los balances adelantados.

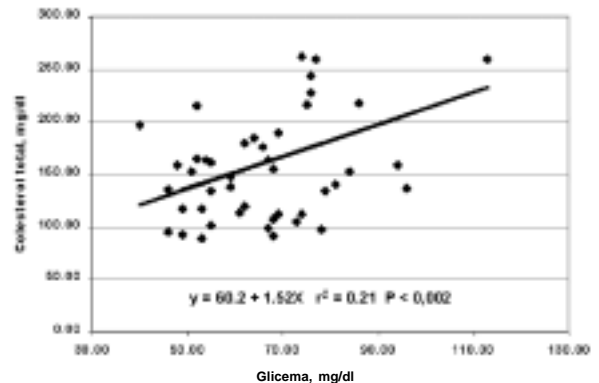


**Figura 4.** Ecuación de regresión que explica la variación de la insulina en función de la producción de leche.

Una relación significativa ( $p < 0.05$ ) y con pendiente negativa se observó entre la producción de leche y los valores de insulina plasmática, es decir los valores de insulina disminuyeron conforme aumentó la producción de leche. Esta relación se ilustra mejor en la figura 4.



**Figura 5.** Ecuación de regresión que explica la variación de los AGNE en función del balance para EN<sub>L</sub>.



**Figura 6.** Ecuación de regresión que explica la variación del colesterol en función de la glicemia

**Tabla 8.** Ecuaciones de regresión que relacionan los indicadores metabólicos entre sí.

Variable independiente	Variable dependiente	Intercepto	Pendiente	<sup>1</sup> R <sup>2</sup>	<sup>2</sup> P
BUN	AST	147.81	-1.47	0.079	<0.10
Glicemia.	Colesterol	60.18	1.52	0.21	<0.005
BUN	Colesterol.	92.57	2.99	0.13	<0.05

<sup>1</sup>Coefficiente de determinación.

<sup>2</sup>Probabilidad de cometer el error tipo I

De igual manera una relación significativa ( $p < 0.005$ ) y con pendiente negativa se observó entre el balance de energía ( $EN_L$ ) y la concentración plasmática de AGNE, la que se ilustra en la figura 5. No se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre  $EN_L$  y glicemia, IGF-1, insulina y B-OH butirato, PDR y amonio, BUN y AST, PNDR y amonio, ni entre BUN y AST.

*Relaciones entre indicadores metabólicos.* En la tabla 8 se presentan los parámetros de las relaciones significativas entre indicadores metabólicos. Se observó una relación positiva entre colesterol y glucosa ( $p < 0.005$ ) (véase la Figura 6) y entre BUN y colesterol ( $p < 0.05$ ) y una relación negativa se encontró entre BUN y AST ( $p < 0.1$ ). No se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre amonio y AST, entre AGNE y AST ni entre b-OH butirato y AST.

## Discusión

### *Características nutricionales de los alimentos utilizados*

La composición bromatológica de la semilla de algodón se encontró dentro de los valores reportados (30). La fracción *a* de la proteína del pasto kikuyo fue muy similar a la reportada por otros autores (1), aunque más baja que la reportada para pasto kikuyo con contenido de PC más alto (8). La fracción *b* de la proteína fue diferente para cada periodo de muestreo, sin embargo estuvo acorde con lo reportado por otros autores (1, 8). Los parámetros de cinética ruminal encontrados para la semilla de algodón fueron más bajos que los reportados por el National Research Council (30) tanto en lo que se refiere al contenido de la fracción *a* y *b* y a la tasa de degradación.

La tasa de degradación del suplemento concentrado fue alta, lo que coincide con otros autores, quienes afirman que en general, la degradabilidad ruminal de estos alimentos es alta, aunque variable (26).

### *Características de los animales utilizados*

El comportamiento atípico en la curva de producción es un indicador del desbalance energético al que se vieron sometidos los animales al inicio de la lactancia, y a un bajo contenido de reservas corporales al momento del parto (3). Por su parte la variación observada en la producción de leche es característica

de la producción al inicio de la lactancia (13). Esta variación es explicada como el resultado de la respuesta individual a los cambios metabólicos que se suceden al inicio de la lactancia y que afectan principalmente el consumo de materia seca.

El hecho de que no se hallaran diferencias significativas en los cambios de peso entre muestreos, se puede explicar por el efecto de las amplias variaciones entre las vacas que opacaron las diferencias que se espera existan a medida que avanza la lactancia. Es posible que el método de estimación del peso de los animales halla contribuido a la alta variación encontrada; sin embargo, el error en el que se incurre cuando se utiliza la cinta métrica es de aproximadamente 5% (16).

### *Balance nutricional*

La relación positiva entre DEL,  $EN_L$  y el balance PC, observados en este trabajo es debida posiblemente al aumento en necesidades de nutrientes que trae consigo el inicio de la lactancia y al aumento progresivo en el consumo de materia seca asociado a los días en lactancia (33).

Las relaciones negativas entre  $EN_L$ , PC, PDR, PNDR y la producción de leche eran de esperarse al inicio de la lactancia debido al incremento de necesidades nutritivas que trae consigo la producción de leche y a la depresión en el consumo de materia seca observada al inicio de la lactancia (9, 24).

### *Indicadores metabólicos*

Los valores de glicemia encontrados en esta investigación fueron más altos que los reportados en trabajos previos (14) en los cuales se encontraron valores inferiores a los considerados normales (40-60 mg / dl) para este mismo tipo de animales y bajo las mismas condiciones de producción. En otras latitudes se han reportado resultados acordes con los encontrados en este trabajo (4). Sin embargo los resultados reportados por otros autores indican que los valores de glicemia son significativamente más altos en el periodo parto y que luego aumentan a medida que avanza la lactancia.

El colesterol plasmático se encuentra dentro de los valores normales reportados para las tres primeras semanas de lactancia (4). En otro trabajo (39) se reportó aumentos sostenidos en los valores plasmáticos de

colesterol desde el parto y hasta la octava semana de lactancia, momento en el cual estos valores se hacen constantes. Las diferencias con otras investigaciones pueden ser debidas a las diferencias en la dinámica del balance energético conforme avanza la lactancia.

Si bien el BUN no presentó variaciones significativas entre periodos de muestreo, el valor correspondiente al día 12 de lactancia fue el más bajo (18.40 mg/dl) y coincidió con el balance proteico de menor valor (-14.562% de los requerimientos). Esto coincide con otro Butler (7), quien afirma que los valores de la urea plasmática son un reflejo del balance de proteína en la dieta. De igual forma se pudo observar un aumento en los valores promedio de amonio plasmático conforme se aumentó el consumo de materia seca, lo que es de esperarse dado que esto conduce a un aumento en el consumo de proteína degradable en el rumen y, por consiguiente, a un aumento en la generación de amonio ruminal. Es de anotar además que los valores observados estuvieron muy alejados del valor asociado con signos clínicos de intoxicación (7ug/ml) (5).

El que los valores de AST fueran significativamente más altos en el posparto que en el preparto y que en el posparto no se presentaran variaciones significativas en la producción lechera, puede ser debido a la continua y alta carga metabólica que impone la producción lechera que da inicio con el parto. Esta pudo haber permanecido sin variación significativa dado que la producción de leche no aumentó con el avance de la lactancia. Resultados similares han sido observado por otros autores (38) quienes encontraron que la actividad de la AST fue 2.3 veces más alta en el posparto que en el preparto. Existe mucha controversia acerca de cual puede ser el rango de variación normal para AST, dado que algunos autores (14) reportan valores más bajos que otros (18).

Los valores de AGNE observados en este trabajo son considerablemente más bajos que los reportados por otros Mashek y Beede (23). Cabe destacar que la producción de leche promedio por vaca reportada por estos autores también fue considerablemente más alta. Los valores más bajos de AGNE correspondieron, en su orden, al muestreo realizado el día 100 posparto y al muestreo preparto, coincidiendo estos con balances energéticos positivos: los valores más altos resultaron ser los correspondientes a los días 12, 24 y 35 posparto,

los cuales coincidieron con producciones de leche significativamente más altas y balances energéticos negativos. Estos resultados están de acuerdo con los reportados por Moller (38), quien observó que la concentración de AGNE declinó gradualmente luego del pico de lactancia. Aunque entre periodos no se presentaron diferencias significativas para los valores plasmáticos de b-OH butirato se pudo observar una tendencia de variación similar a la de los AGNE. Los valores de AGNE están estrechamente relacionados con los de b-OH butirato dado que la finalidad metabólica de la movilización de AGNE es su oxidación mitocondrial y bajo condiciones de reducido suministro de precursores gluconeogénicos esto genera grandes cantidades de b-OH butirato. Los valores de b-OH butirato están acordes con los reportados por otros autores (23, 38) para el periodo preparto, pero más bajos que los reportados para el periodo posparto, los cuales fueron entre 2 a 2.5 veces superiores al valor del preparto. Es de anotar que bajo el presente trabajo no se observaron valores de hipoglicemia que pudieran coincidir con una elevada generación de b-OH butirato. Las diferencias encontradas con otros autores pueden ser debidas a las diferencias en la dinámica del balance energético que imponen los niveles de producción lechera.

El hecho de que la insulina plasmática no presentara diferencias significativas entre periodos de muestreos, contrasta con lo reportado por otros autores (23, 38), quienes encontraron valores de insulina significativamente más altos en el preparto comparados con el posparto. Si bien los valores en el preparto fueron más bajos que los reportados, los valores posparto coinciden con los reportados por estos autores. Es importante destacar que los valores de insulina están relacionados con el suministro de alimentos concentrados (22) y en el presente trabajo los animales en el preparto no recibieron suplementación alimenticia con concentrados.

La mayor concentración de IGF-1 plasmática en el preparto pudo ser debida a la presentación de un balance energético más positivo en este periodo (21). Estos resultados coinciden con los reportados por otros autores (4, 21), los cuales observaron como los valores plasmáticos de IGF-1 decrecían al momento del parto, permanecían bajos en las primeras semanas posparto y aumentaban conforme avanzaban los días en lactancia.



*Relaciones entre el balance nutricional y los indicadores metabólicos.*

El colesterol es un indicador adecuado para establecer el consumo de energía (37) y de alguna manera, del balance energético del animal. La concentración sérica de colesterol puede variar con el estado productivo del animal. Los resultados obtenidos demuestran que efectivamente al inicio de la lactancia cuando los niveles de producción de leche fueron altos, la concentración sanguínea de colesterol presentó los valores más bajos y estos se incrementaron con el avance de la lactancia y la subsiguiente reducción en la producción de leche (véase Figura 7). De igual manera, dado que con el avance de la lactancia el balance para  $EN_L$  se hizo menos negativo, es lógico esperar la relación positiva que se encontró entre colesterol y el balance de  $EN_L$  (véase Figura 8), lo que coincide con lo reportado por Sommer (37). Así mismo, las relaciones positivas encontradas entre colesterol y los balances para PC, PDR y PNDR, concuerdan con un aporte mayor de nutrientes y con una reducción en las demandas por estas fracciones del alimento.

La relación positiva entre glucosa y DEL es explicada por la disminución en las demandas por este metabolito para la síntesis de la leche a medida que avanza la lactancia y la producción de leche se reduce, con lo que la glicemia se incrementa. Se encontró una baja asociación entre la glicemia y los balances de nutrientes, aunque no así con la producción de leche, donde la glicemia y la producción de leche se relacionaron negativamente ( $p > 0.1$ ), biológicamente esta relación tiene una explicación similar a la relación colesterol-producción.

Los valores de insulina disminuyeron conforme aumentó la producción de leche. Lo anterior tiene su explicación en el direccionamiento de nutrientes hacia tejidos extramamarios mediado por la insulina (3), lo que se debe ver reflejado como una relación negativa entre insulina y producción lechera.

La relación negativa observada entre el balance de  $EN_L$  y AGNE es de esperarse dado que el balance energético negativo activa la movilización de reservas corporales (38).

*Relaciones entre indicadores metabólicos.* La relación positiva observada entre colesterol y glucosa se debe a la necesidad de glucosa como precursor de  $NADPH_2$ , el que a su vez es el agente reductor exclusivo para los procesos de síntesis de colesterol (34, 19). De igual manera, la relación positiva entre BUN y colesterol puede ser debida a que la generación de urea ocurre como consecuencia de la detoxificación del amoníaco resultante del direccionamiento de aminoácidos hacia gluconeogénesis, y como se discutió en el párrafo anterior, las concentraciones de glucosa se relacionaron positivamente con las de colesterol, por lo tanto un aumento en la glicemia debe conducir a un aumento en la urea plasmática (11, 19).

Dado que la actividad AST ha sido negativamente asociada con salud y funcionalidad hepática (14), es de esperar que animales que tengan la capacidad de detoxificar grandes cantidades de amoníaco y por ende de generar altos niveles de BUN tengan una buena funcionalidad hepática y presenten valores más bajos de AST.

### **Agradecimientos**

A la dirección de investigaciones de la Universidad Nacional, sede Medellín (DIME) y A la Corporación Académica de Ciencias Básicas Biomédicas por la financiación de esta investigación. A laboratorios LABCO de Medellín, por su valiosa colaboración. Al personal administrativo y operativo del departamento de haciendas de la facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Antioquia.

### Summary

*Interactions between the nutritional balance, the indicators of energetic and protein metabolism, and the concentration of plasmatic insulin and IGF-1 in early-lactating cows*

*In order to assess the nutritional balance influence on the indicators of energetic and protein metabolism as well as its effects on the generation of insulin and the insulin like growth factor 1 (IGF-1), ten Holstein cows were used to obtain samples on the 12<sup>th</sup> prepartum day and on the 12<sup>th</sup>, 24<sup>th</sup>, 35<sup>th</sup> and 100<sup>th</sup> postpartum days (lactation days, DEL) to determinate the balances of lactation net energy (EN<sub>L</sub>), crude protein (PC), degradable rumen protein (PDR) and non degradable rumen protein (PNDR), as well as any weight changes. Samples were also tested to determinate the concentrations of plasmatic urea (BUN), glucose, total cholesterol, ammonia,  $\beta$ -OH butyrate, non-esterified fatty acids (AGNE), insulin, IGF-1, and the transaminase oxaloacetate glutamate activity (AST). EN<sub>L</sub> and PC were found to be positive in the prepartum sampling. On the 12<sup>th</sup> postpartum day, EN<sub>L</sub> and PC were negative. On the 35<sup>th</sup> postpartum day, the PC values were 0 or above. In contrast, EN<sub>L</sub> returned positive values only until the 100<sup>th</sup> postpartum day. DEL showed positive correlations with EN<sub>L</sub> and PC. Milk production, however, showed negative correlations with EN<sub>L</sub>, PC, PDR and PNDR. Glycemia and IGF-1 values were significantly lower during the postpartum period. The average values of weight changes,  $\beta$ -OH butyrate, BUN, ammonia, and plasmatic insulin did not show any significant variations between periods. The AST values were significantly lower prepartum than postpartum. The lowest AGNE values were obtained prepartum and in the 100<sup>th</sup> postpartum day. These had a direct correlation with the positive energetic balances. Similarly, positive relations were found between cholesterol and DEL, EN<sub>L</sub>, PC, PDR, and PNDR; between cholesterol and glycemia; between BUN and cholesterol; between glycemia and DEL. Nevertheless, negative relations were found between milk production and plasmatic insulin, as well as between EN<sub>L</sub> and AGNE, and BUN and AST.*

**Key words:** *blood metabolites, dairy cattle, metabolism, transition.*

### Referencias

1. Agudelo JM y Restrepo CA. Efecto de la utilización de la acacia negra (*A. decurrens*) sobre los niveles de producción y el contenido proteico de la leche en vacas de alto rendimiento. Trabajo de grado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, 2001. 78p.
2. Basoglu A, Sevinc M, Ok M, Gokcen M. Peri- and postparturient concentrations of lipid lipoprotein, insulin and glucose in normal dairy cows. *Turk-Veterinerlik-ve-Hayvancilik-Dergisi*. 1998; 22: 141-144.
3. Bauman DE and Currie WB. Partitioning of nutrient during pregnancy and lactation: a review of mechanisms involving homeostasis and homeorhetics. *J. Dairy. Sc.* 1980; 63: 1514-29.
4. Beam SW and Butler WR. Energy balance, metabolic hormones and early postpartum follicular development in dairy cows fed prilled lipid. *J. Dairy. Sc.* 1998; 81: 121-31.
5. Blood DC. (ed). *Medicina veterinaria*, vol II, 7<sup>a</sup> ed. México, Interamericana-Mc Graw Hill, 1992; 1398p.
6. Braun B, Kolar I, Pozdisek J. Effect of different rates of nitrogen fertilizers on the nutrition and production characteristics of temporary grasslands. *Zivocisna-Vyroba*. 1996; 41: 455-459.
7. Butler WR. Review: Effect of protein nutrition on ovarian and uterine physiology in dairy cattle. *J. Dairy. Sc.* 1998; 81: 2533-39.
8. Carulla J. Efectos de la fertilización nitrogenada sobre la proteína del forraje, En: *Simposio Internacional sobre la Proteína en la Leche*, Medellín, noviembre de 1999.
9. Correa H. Simulación del balance de energía y proteína de un hato lechero del oriente colombiano. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 1999; 12: Supl: 57.
10. Correa H. Programa de computador "LECHERIA" 2000. Hoja de cálculo para predecir requerimientos nutricionales y composición de suplementos concentrados en ganado lechero. 2000.
11. Correa H, Cuellar A. Aspectos claves del ciclo de la urea con relación al metabolismo energético y proteico en vacas lactantes. En proceso de publicación. *Rev. Col. Cienc. Pec.*

12. Correa L, Marín M. Balance energético y proteico en vacas peri parturientas y la relación con su estado metabólico. Trabajo de grado Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Zootecnia. 2002. 50p.
13. Drackley JK. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier?. *J. Dairy Sc.* 1999; 82: 2259–73.
14. Gaviria BG, Gutiérrez HN, Molina SE, Ruiz MI, Tamayo PC, *et al.* Estudio de la infertilidad bovina en las zonas lecheras de Antioquia. U de A, Sec. Agric, ICA, Colanta. 1999. 100 p.
15. Giraldo LA. Estandarización de la técnica de la biodegradación ruminal in situ para evaluar forrajes tropicales. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 1996; 9: 29-63.
16. Heinrichs J, and Lammers B. Monitoring dairy heifer growth. Pennsylvania State University. 2001. <http://www.das.psu.edu/dcn/calfmgt/growth/docs/measure.html>
17. Hibbitt KG, Haresign W. Effect of protein on the health of dairy cows. En: Cole DJA (ed). *Recent developments in ruminant nutrition*, vol 2. First ed, Oxford, 1988; 184-195.
18. Howard J. *Current veterinary therapy* 3. Food animal practice, vol 3, 3 ed. Philadelphia, WB Saunders Co, 1993. 966p.
19. Kaneko JJ, Harvey JW and Bruss ML. *Clinical biochemistry of domestic animal*, 5<sup>th</sup> ed. San Diego. Academic Press Inc. 1997. 780p.
20. Lucy MC, Thatcher WW, Staples RC. Postpartum function: Nutritional and physiological interactions. En: Van Horn, Wilcox CJ (ed). *Large Dairy Herd Management*. First ed, Champaign, 1992; 135-45.
21. Lucy MC. Regulation of ovarian follicular growth by somatotropin and insulin-like growth factors in cattle. *J. Dairy Sci.* 2000; 83:1635-47.
22. Madsen A. Metabolism in liver cells. In: Riis PM. *Dynamic Biochemistry of Animal Production*. Amsterdam, Elsevier Science Publishers B.V., 1983. p. 53 - 74.
23. Mashek DG, and Beede DK. Peripartum responses of dairy cows fed energy dense diets for 3 or 6 weeks prepartum. *J. Dairy Sci.* 2001; 84:115-25.
24. McGuffey K. Alimentación y manejo de la vaca de alta producción lechera, En: *Memorias 5° Congreso Panamericano de la Leche*. Medellín, Col, 1994; 105–29.
25. Mertens D R. Using neutral detergent fiber to formulate dairy rations and estimate the net energy content of forages, *Animal and Dairy Science dept, University of Georgia, Athens, Proc. Cornell Nutr. Conf.* 1983. 305p.
26. Mertens DR. Nonstructural and structural carbohydrates. In: *Large Dairy Herd Management*, Van Horn HH, and Wilcox CJ (ed). American Dairy Science Association, Champaign, IL, 1992; 219-35
27. Miettinen PVA. Prevention of bovine ketosis with glucogenic substance and its effect on fertility in Finnish dairy cows. *Berliner-und-Münchener-Tierärztliche-Wochenschrift.* 1995; 108: 14-19.
28. Moller S. “Protein penalty” in cows consuming pasture. *Cattle Practice.* 1996; 4: 71; 7.
29. National Research Council. *The nutrient requirements of dairy cattle*. 6 edition; National Academy of Sciences, Washington, D. C. 1989; 157p.
30. National Research Council. *The nutrient requirements of dairy cattle*, 7 ed, National Academy Press, Washington D, C, 2001; 230p.
31. Ørskov ER, McDonald I. The estimation of protein degradation in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agricult. Sci.* 1979; 92: 499–503.
32. Ørskov ER, and Shand WJ. Use of the nylon technique for protein and energy evaluation and for rumen environment studies in ruminants. *Livest. Res. Rural Develop.* 1998; 9:1, 4p.
33. Overton TR. Update and new perspectives on interactions of nutrition and reproduction in lactating dairy cows. 1999. 6p. <http://www.ansci.cornell.edu/dm/dm/html>.
34. Overton TR, Drackley JK, Otteman CJ, Beaulieu AD, Clark JH et al. Substrate utilization for hepatic gluconeogenesis is altered by increased glucose demand in ruminant. *Journal of Animal Science.* 1999; 77: 1940-1951.
35. Rowett Research Institute. Neway Program, Model based on McDonald, 1981. *J. Agricult. Sci. Cam.* 1998; 96: 251–52.
36. SAS/STAT User’s Guide: Statistics, Versión 6. 4 edition. 1989. SAS Inst, Inc, Cary, NC,.
37. Sommer H. The role of the metabolic profile test in the control of cattle feeding, *Magyar Állatorvosok Lapja*. En: *Memorias, Segundo Seminario Internacional en reproducción y metabolismo de la vaca lechera*. Universidad de Caldas. Manizales, Colombia. 1999; 714 – 717

38. Van den Top AM, Wensing TH, Geelen MJ, Wentink GH, Vant Klooster Ath and Beynen, AC. Time trends of plasma lipids and hepatic triacylglycerol synthesizing enzymes during postpartum fatty liver development in dairy cows with unlimited access to feed during dry period. *Journal of dairy science*. 1995; 78:2208-2220.
39. Van den Top AM, Geelen MJ, Wensing TH, Wentink GH, Vant Klooster *et al.* Higher postpartum hepatic triacylglycerol concentration in dairy cows with free rather than restricted access to feed during dry period are associated with lower activities of hepatic glycerolphosphate acyl transferase. *J. Nutri.* 1996; 126:76-85.
40. Van Soest PJ, and Robertson JB. Analysis of forrage and fibrous foods. A laboratory manual for animal science. Cornell University, 1985. 503p.