



## **UTILIZACION DEL SISTEMA CNCPS COMO HERRAMIENTA DE SOPORTE PARA LA INVESTIGACIÓN EN FORRAJES TROPICALES**

Luis Carlos Arreaza,  
Programa de Fisiología y Nutrición Animal, Corpoica, C. I. Tibaitatá

### **Introducción**

El uso de modelos de simulación con alto grado de agregación es una tendencia creciente tanto en la industria como en la investigación. A pesar de que estos han sido ampliamente usados en el desarrollo de tecnologías aeroespaciales, militares, comerciales y financieras, en la agricultura no ha tenido hasta ahora mucha relevancia. Sin embargo, en la investigación agropecuaria empieza a tener valor a medida que se incrementa la información experimental y las herramientas de programación se hacen más accesibles.

El modelo llamado “Cornell Net Carbohydrate and Protein System” (CNCPS) o Sistema de Carbohidratos y Proteína Neta de Cornell, de acuerdo a la definición de modelo dada por Gill *et al* (1989), puede ser considerado como un conjunto integrado de ecuaciones o coeficientes que describen las diferentes funciones fisiológicas del ganado. En este orden de ideas, definiremos que es un modelo en el lenguaje científico y particularmente en biología.

Modelo es un invento construido como una ayuda para entender un sistema específico y con la posibilidad de relacionar este con otros sistemas. Es una declaración formal de asunciones, conceptualizaciones y diseños experimentales. Pero la mejor definición y la mejor desde mi perspectiva: “Modelo es una representación simplificada de un sistema real”

Sin embargo un modelo en estos términos es un simple diagrama conceptual; para que tenga utilidad debe ser traducido a modelo matemático, el cual se puede describir como conjunto de ecuaciones, que representan los procesos simbolizados en el esquema del modelo conceptual. Así, el modelo matemático une la exactitud de las matemáticas con la vaguedad de la biología (Foster and Boston, 1997)

El propósito del modelo depende de las necesidades del investigador y de cómo el modelamiento es usado en el diseño de experimentos. Algunos de los propósitos para usar un modelo son (Foster and Boston, 1997):

1. Describir un conjunto de datos experimentales y estimar unos parámetros deseados.
2. Caracterizar mas detalladamente un sistema bajo estudio.
3. Simular experimentos que no son posibles en el sistema real por distintas restricciones.

## **Primera Reunión de la Red Temática de Recursos Forrajeros – Junio 2004**

En este contexto, existen dos opciones: 1- la necesidad de comprender sistemas biológicos complejos y 2- la necesidad de integrar la gran masa acumulada de conocimientos en nutrición y fisiología animal. Esto ha generado una demanda creciente por el desarrollo de modelos capaces de manejar esa complejidad (Baldwin, 2000). La necesidad de alimentar una población creciente y el incremento de la conciencia colectiva hacia la preservación de los ecosistemas y sus recursos, ha producido modelos como el CNCPS, enfocado hacia la optimización de la eficiencia del ganado bovino, bajo condiciones muy diversas, a diferencia de otros modelos que son muy específicos y restringidos como Molly (Baldwin, 1995) y el modelo de digestión y metabolismo ruminal de Dijkstra *et al* (1992).

### **Problema en el manejo de la alimentación animal en pastoreo**

En primer lugar está la falta de aplicación de criterios agronómicos en el manejo del cultivo de pastos (fisiología de la planta). En los sistemas ganaderos actuales y promedio en la mayoría de las regiones, la administración de las praderas se le adjudica al propio animal. No se tiene una cultura de considerar a la pradera como un cultivo, con la misma importancia de un lote de algodón o maíz, el cual necesita fertilización, descanso, escarificación y otras prácticas como el control de plagas y enfermedades.

En segundo lugar, la ausencia de herramientas y conceptos definidos sobre las necesidades nutricionales de los animales, acordes con su status fisiológico, que permitan o faciliten su cuantificación en kg de nutrientes, para planificar las necesidades de biomasa en términos de calidad y cantidad, que cumplan o llenen los requerimientos animales sin sacrificar ninguno de los componentes (Suelos, praderas, aguas y los animales).

### **El Modelo como herramienta de predicción del desempeño animal (bovinos)**

El CNCPS fue desarrollado para predecir requerimientos animales, utilización del alimento y excreción de nutrientes para ganado de leche y carne bajo esquemas de producción diversos (Fox *et al*, 2000). El modelo integra el conocimiento actual de los requerimientos del ganado bovino de acuerdo al efecto de raza, tipo y tamaño, nivel de producción y ambiente externo, basándose en la composición química del alimento, digestión y metabolismo de este, en proporción a los requerimientos para cada función específica (Fox *et al*, 2000).

El CNCPS es por lo tanto un modelo matemático para evaluar dietas y comportamiento animal, desarrollado a partir de principios básicos de función ruminal, crecimiento microbial, digestión y pasaje del alimento por el tracto digestivo y fisiología animal (Fox *et al* 2004). Debido a su integración con aspectos específicos de manejo y ambiente de finca, ha sido posible un mayor precisión en la predicción de crecimiento y producción de leche en el ganado, además de la estimación de la excreción de nutrientes bajo situaciones de finca muy diversas.

El modelo fue dado a conocimiento publico por primera vez en 1992 y 1993 en una serie de artículos, pero los últimos diez años ha sido refinado continuamente y la versión actual es la 5.034 liberada en el año 2003.

Para formular raciones, el CNCPS, requiere principalmente, información sobre: 1) los animales, 2) alimentos, 3) condiciones de manejo y 4) ambiente. Para su utilización

## **Primera Reunión de la Red Temática de Recursos Forrajeros – Junio 2004**

adecuada, los autores han impuesto dos restricciones en su desarrollo: 1) la información de entrada debe ser disponible rutinariamente en una finca y 2) la aplicación de las recomendaciones obtenidas de su utilización, no deben presentar riesgo económico o afectar adversamente a los animales (Fox *et al* 2004).

La estructura del CNCPS contiene varios submodelos con diferentes niveles de agregación cada uno. Algunos son relativamente mecanísticos, mientras otros son básicamente empíricos y se asume que las condiciones de corrida son estables (steady state) para todo el modelo y sus componentes (Fox *et al* 2004). Estos submodelos se clasifican según su función fisiológica en:

1. Mantenimiento.
2. Crecimiento.
3. Gestación.
4. Lactancia.
5. Reservas Corporales.
6. Consumo voluntario y composición.
7. Fermentación Ruminal.
8. Digestión Intestinal.
9. Metabolismo
10. Excreción de Nutrientes

El modelo cuenta con 279 variables, parámetros y constantes, que integran los 10 submodelos. Para simplificar esta complejidad, se presenta una breve descripción de cada submodelo en la estructura del CNCPS.

### **1. Mantenimiento:**

La energía disponible para funciones productivas depende de la proporción de energía consumida que debe ser utilizada para requerimientos de mantenimiento y es considerada en primer orden para evaluar la dieta y el desempeño animal. Los requerimientos para mantenimiento se calculan para raza, estado fisiológico, actividad, excreción de urea, estrés de calor o frío y efectos de aclimatación. En crecimiento la energía neta para mantenimiento (ENm) se ajusta utilizando la escala de condición corporal de 1-9 en ganado de carne y de 1-5 para leche. La ENm para toros se incrementa en 15% y se reduce en 10% para todas las razas *Bos indicus*. Sin embargo, de acuerdo con experimentos llevados a cabo en Brasil (Tedeschi *et al* 2002b), reportaron la misma cantidad de ENm para toros y novillos Nellore, por lo cual CNCPS no hace incremento para toros o reducción para novillos Nellore alimentados con dietas de forraje.

Para requerimientos de proteína de mantenimiento, el CNCPS asume que esta es igual a la suma de proteína de descamación, proteína urinaria y proteína fecal, de acuerdo con NRC 2000 y esta se denomina proteína metabolizable (PM).

### **2. Crecimiento:**

La energía y la proteína para crecimiento incluye ajustes para efectos de peso corporal, tasa de ganancia, composición química de la ganancia y peso adulto tal como NRC 2000-2001. Un sistema de escalas para tamaño basado en la relación de peso actual / peso adulto, se utiliza para predecir la composición de la ganancia (agua, grasa, proteína). El peso en ayuno es ajustado a un peso equivalente a un animal de referencia estándar en el mismo estado de crecimiento. En vacas de carne el peso

## **Primera Reunión de la Red Temática de Recursos Forrajeros – Junio 2004**

maduro es definido como el peso en el cual un incremento en la masa corporal no contiene ganancia neta de proteína (solo incremento de grasa), condición que ocurre a los 4 años de edad; a una condición de 5 en vacas de carne y de 3 en vacas de leche. Para animales de sacrificio en crecimiento, el peso maduro es el peso esperado a una composición final esperada. Para novillas de reemplazo se asume 478kg. Para novillos, toros y hembras de engorde es 400, 478, 435, respectivamente a una composición final de 22, 25 o 28% de grasa corporal (NRC 2000), lo cual está asociado al grado de marmoreo respectivamente.

Para animales de engorde en crecimiento se realizan ajustes por el uso de anabólicos, de acuerdo a la guía del NRC 2000, si los implantes son estrogénicos o androgénicos y de acuerdo al tiempo de uso y al nivel energético en la dieta. La energía neta para ganancia (ENg) se basa en relaciones empíricas descritas por NRC. El CNCPS, usa la energía disponible para ganancia, corregida por ENm y peso corporal, ajustada al animal de referencia estándar, para predecir la ganancia diaria de peso. Una vez determinada la energía requerida, la cantidad de proteína (MP) requerida se calcula.

### **3. Gestación**

El CNCPS calcula los requerimientos para gestación y ganancia de peso para crecimiento del útero grávido, basándose en el peso al nacer esperado y el día de gestación actual.

### **4. Lactancia**

La energía y la proteína requeridas para producción de leche es calculada, de acuerdo a la producción actual y sus componentes. La proteína cruda en leche es convertida a proteína verdadera según la expresión: “% proteína cruda \* 0,93”. Si no se tienen los valores de proteína y grasa en leche, el CNCPS, calcula los requerimientos con valores por defecto. La energía metabolizable para leche se calcula de la energía en leche con una eficiencia de 0,644. La proteína metabolizable (PM) requerida para leche es calculada del rendimiento en leche y el contenido de PC en leche y la PM es convertidas con una eficiencia de 0.65.

Como la producción de leche en vacas de carne no es medida normalmente, los requerimientos para lactancia se calculan de acuerdo a edad de la vaca, tiempo al pico de lactación, pico producción esperado basado en raza y peso al destete de la cría, día de lactancia, duración de la lactancia, contenido de grasa en leche, sólidos en leche y proteínas en concordancia con NRC 2000.

### **5. Reservas Corporales**

El submodelo para cálculo de reservas en el CNCPS usa la condición corporal (BCS) para el manejo de las reservas de energía, desde que se sabe que hay cambios significativos en agua y grasa corporal a través de la lactancia (Andrew, et al, 1994). La base de datos en el submodelo asume un peso de referencia (en ayuno) de 642kg a una condición 5 (1-9), con un valor de 44 kg por cada punto de condición (6.85% del peso promedio). Cambios en BCS son sumados o restados a la condición actual, para calcular la energía y la proteína ganada o perdida. En el modelo la eficiencia de uso de la EM para reservas en lactancia es 0.75 y 0,644 la eficiencia para lactancia como producción.

## **6. Consumo de Materia Seca**

El suministro de nutrientes en el CNCPS se calcula partiendo del consumo actual de materia seca (MS). Cuando este no se conoce, situación común para animales en pastoreo, el submodelo proporciona ecuaciones empíricas para predecir el consumo. Las ecuaciones se desarrollaron específicamente para los tres tipos de ganado: ganado de carne (NRC, 2000), ganado de leche (Milligan, et al 1981) y doble propósito (Traxler, 1998).

Para todos los tipos, cada ecuación hace ajustes por efecto de temperatura ambiente, y de acuerdo al estado fisiológico (ver tabla 1):

**TABLA 1.** Ecuaciones para estimar el consumo voluntario de materia seca (según Fox et al, 2004)

### **Tipo Animal**

**Ternero <12 meses:**  $SBW^{0.75} * ((0.2435 * ENm - 0.0466 * ENm^2 - 0.1128) / ENm) * BFAF * BI * ADTV * DMIAF * MudDMI$

**Animal > 1 año:**  $SBW^{0.75} * ((0.2435 * ENm - 0.0466 * ENm^2 - 0.0869) / ENm) * BFAF * BI * ADTV * DMIAF * MudDMI * C1$

**Vaca de carne no gestante:**  $SBW^{0.75} * ((0.04997 * ENm^2 + 0.0384) / ENm) * DMIAF * MudDMI + 0.2 * MILKadj$

**Vaca de carne preñada:**  $SBW^{0.75} * ((0.04997 * ENm^2 + 0.04631) / ENm) * DMIAF * MudDMI + 0.2 * MILKadj$

**Vaca de leche lactando:**  $0.0185 * FBW + 0.305 * FCM * DMIAF * Mud * lag$

**Vaca D.P lactando:**  $FBW^{0.75} * (0.1462 * ENm - 0.0517 * ENm^2 - 0.0074 + 0.305 * FCM + C2$

**Vaca leche seca:**  $0.02 * SBW * DMIAF * MudDMI * C1$

---

SBW = Shrunken body weight (peso en ayuno)

FBW = Full body weight (peso lleno)

Mud = lodo adherido al cuerpo ( para animales en confinamiento)

lag:  $(1 - \exp) - (0.564 - 0.124 * PKMK) * (\text{Días en leche} + P)$ . Si días en leche  $\leq 16$ , de lo contrario lag = 1 ;

P = proteína en leche.

BFAF = factor de ajuste por grasa corporal

DMIAF = factor de ajuste del consumo por enfriamiento nocturno

FCM = leche corregida por grasa (4%)

BI: factor de raza. BI Holstein = 1.08; Holstein\*carne = 1.04; otros = 1.

ADTV = implante anabólico.

DMI = consumo de MS diario.

C1 = factor para Peso del concepto. En novillas de reemplazo, si días de gestación  $> 259$  C1=0.8; si otro valor C=1

C2 = si producción de leche  $> 15$  kg, C2=1.7, de lo contrario C2=0

---

## **7. Fermentación Ruminal**

CNCPS al igual que NRC 2000 y 2001 tienen dos niveles de agregación para solucionar las dietas. El nivel 1 está dirigido a condiciones donde los alimentos no están totalmente caracterizados y el usuario no está familiarizado con el modelo. El nivel 2 es para usuarios con suficiente información sobre la composición nutricional del alimento y tienen un entendimiento adecuado de cómo usar el submodelo de rumen.

El nivel 1 calcula los nutrientes digeribles totales (NDT) y PM con ecuaciones empíricas basadas en los desarrollos de Weiss (1993) y NRC (2001).

En el nivel 2, los TDN disponibles ruminalmente y la PM son derivados mecanísticamente a partir de las tasas de degradación (Kd) y de pasaje (Kp). El modelo calcula los agregados de componentes que son degradados y que pasan al tracto posterior de acuerdo a las velocidades de fermentación y de flujo, utilizando la relación simple  $Kd/(Kd+Kp)$ . Alimento no digerido en el rumen pasara sin degradarse al intestino, donde será o no digerido, de acuerdo a una tasa específica de digestión intestinal.

Este sistema asume varias condiciones para operar correctamente (Fox et al 2004)

- 1.) Kd es de primer orden simple.
- 2.) Cada componente en el alimento opera como “pool” simple.
- 3.) Los microorganismos ruminales siempre están en exceso.
- 4.) No existe un tiempo de retardo (lag) al iniciar la fermentación.
- 5.) Kp depende del consumo de MS y del contenido de fibra en detergente neutro (FDN) efectivo (peFDN)<sup>1</sup>

## **8. Crecimiento Microbial en el nivel 2 de CNCPS**

El modelo asume que solo hay dos conjuntos de bacterias:

1. bacterias fibrolíticas (fermentadoras de carbohidratos estructurales) y
2. bacterias amilolíticas (fermentadoras de carbohidratos solubles).

Las bacterias fermentadoras de carbohidratos estructurales, utilizan NH<sub>3</sub> como una fuente de N para crecimiento. Las bacterias fermentadoras de carbohidratos no estructurales o solubles utilizan NH<sub>3</sub>, aminoácidos o péptidos como fuente de N para síntesis de proteína.

Este sistema para simular la dinámica del tracto digestivo, puede no ser muy valida, pero su simplicidad ha permitido la aplicación practica de este concepto en la descripción de alimentos y validación del modelo completo.

En el CNCPS la eficiencia de síntesis de cada grupo de bacterias es estimada en función de los requerimientos de mantenimiento y crecimiento, de la tasa de degradación del sustrato, utilizando al modelo de Pirt citado por Guada (1996), en el cual la tasa de fraccional de crecimiento, se sustituye por la tasa fraccional de degradación del sustrato.

$$1/Y = Km /Kd+1 /Kg.$$

siendo:

Y = eficiencia neta de crecimiento: g bacterias /g sustrato

Km = requerimientos de mantenimiento: (g sustrato /g Bacterias /hora)

Kd = tasa de degradación sustrato: (g /hora)

Kg = eficiencia máxima de crecimiento: (g bacterias /g sustrato)

---

<sup>1</sup> peFDN = El porcentaje de FDN que es capaz de estimular la masticación, la rumia y la motilidad ruminal y se define como el tamaño de partícula que NO pasa por una malla de 1.18 mm.

## **Primera Reunión de la Red Temática de Recursos Forrajeros – Junio 2004**

El submodelo de rumen fue evaluado en experimentos que midieron el N bacteriano y el flujo desde el rumen. El CNCPS explicó el 93, 95, 76 y 79% del N total, N no amoniacal, N bacteriano y el N dietario no proteico que fluye desde el rumen, además entre el 81-90% de la variación en Amino Ácidos esenciales. Sin embargo, estas validaciones se realizaron con datos de composición de las raciones incluidas en las bibliotecas del CNCPS y no con composiciones obtenidas directamente por laboratorio en las dietas utilizadas para los experimentos, aspecto criticado por Fox, ya que así no se puede validar adecuadamente un modelo por no ser los datos de composición independientes del modelo.

### **9. Digestión Intestinal**

El sistema utiliza coeficientes de digestibilidad medidos experimentalmente, para la predicción de la digestibilidad intestinal y pérdidas fecales. La precisión de los estimados de digestión dependen de que también sean predichas las cantidades de carbohidratos y proteínas no degradadas en el rumen. Según Fox et al (2004), en la mayoría de los alimentos casi el 75% es degradado o digerido en el rumen.

Para la principal fracción de los forrajes que es el carbohidrato  $B_2$ , se le asignó una digestibilidad intestinal de 20%. Para otras fracciones como carbohidratos  $B_1$  los valores fluctúan de acuerdo al consumo, tipo de grano y el grado de procesamiento entre 30 y 90%.

Las fracciones proteicas  $B_1$ ,  $B_2$  y  $B_3$  asumen una digestibilidad intestinal de 100, 100 y 80% respectivamente. En este aspecto las tasas de degradación de las fracciones proteicas se han tomado siempre de la literatura y mediante cálculos. No se ha establecido una técnica de laboratorio, similar a la de carbohidratos (Pell et al, 1993), para determinar la velocidad de degradación de cada fracción proteica

### **10. Excreción de Nutrientes**

El CNCPS originalmente no consideraba la excreción de nitrógeno (N), fósforo (P) y otros minerales (Fox et al, 2000), sin embargo, debido a la creciente presión por la conservación del ambiente, especialmente suelos y aguas, se adicionó un módulo para estimar la excreción de estos elementos y asociarlo a los modelos de manejo integral de la finca (CuNMPS<sup>2</sup>) para el manejo completo de los nutrientes tanto en el hato como en los cultivos de forrajes y otros. La excreción total de N es dividida en N fecal y N urinario y la excreción de fósforo es calculada después de la estimación del contenido de P en productos (leche, tejidos y gestación) (Fox et al, 2004).

### **Aplicaciones del Modelo**

Aunque CNCPS ha sido evaluado y validado ampliamente y con detalle en sistemas de producción de leche en el hemisferio norte (Tylutki y Fox, 1997, Van Amburgh et al 1998, Kolver et al 1998), los trabajos en el trópico son menos frecuentes y se han realizado principalmente en Centro América (Juárez Lagunes, et al 1999, Molina et al, 2004), en Brasil (Lanna et al, 1996 y Rueda et al, 2003). En otros países del hemisferio sur no se ha llevado ningún trabajo formal de aplicación del sistema o su calibración para aplicarlo. Los resultados de Juárez Lagunes (1999) indicaron variaciones en las fracciones de carbohidratos y proteína y en sus tasas de degradación, cuando se compararon 15 pastos

---

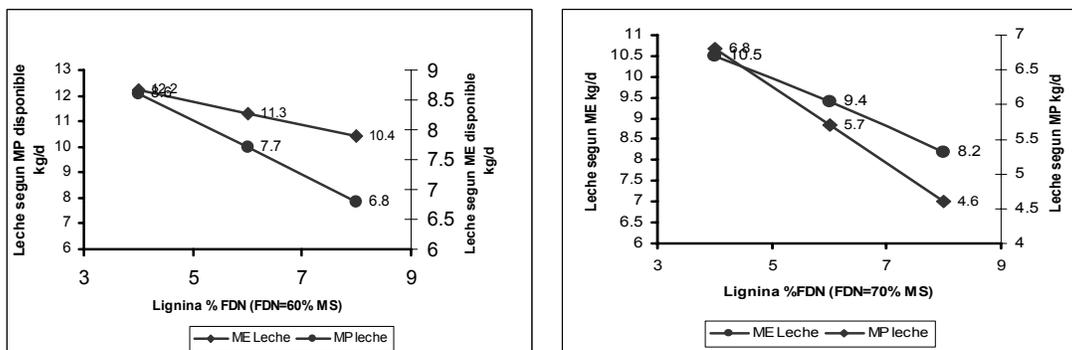
<sup>2</sup> Cornell University Nutrient Management Planning System

**Primera Reunión de la Red Temática de Recursos Forrajeros – Junio 2004**

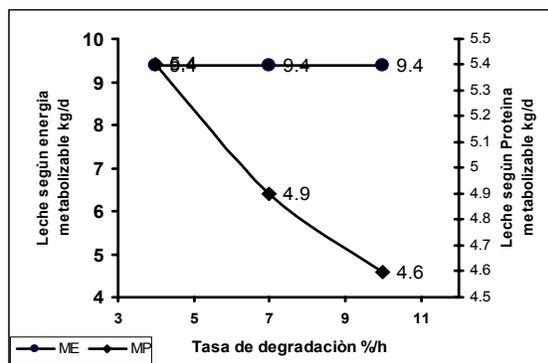
tropicales. La comparación del comportamiento animal predicho vs. observado en vacas Doble Propósito consumiendo pasto pangola (*Digitaria decumbens*) y suplementadas con concentrado (Sorgo, Torta de Soya, melaza y urea), en relación al consumo de MS necesario para llenar los requerimientos de una producción de 10 Kg /día, difirieron de acuerdo a si se utilizaban los valores de las bibliotecas o los valores obtenidos en laboratorio para la composición del pangola (14.3 vs. 9.05 Kg MS /día). Esto refuerza la importancia de obtener buenos y confiables análisis de laboratorio para obtener precisión en las predicciones del CNCPS.

En el mismo trabajo, también se evaluó el efecto de la fertilización de 4 gramíneas sobre las fracciones de carbohidratos y proteína y su efecto en la disponibilidad de energía y proteína metabolizable para leche. La fertilización con 100 Kg /ha de N como urea en las 4 gramíneas, no mejoro la energía metabolizable para leche pero si la proteína metabolizable, principalmente por incremento en los agregados de proteína cruda y proteína soluble.

La evaluación de las 15 gramíneas tropicales para producción de leche estimada por el CNCPS, mediante variaciones en sus contenidos de Proteína cruda (PC) Proteína soluble (Psol), FDN, lignina, tasas de degradación de carbohidratos y de proteína B<sub>3</sub>, mostraron diferencias considerables en cuanto a consumo, energía y proteína metabolizable para leche. (ver figuras 1 y 2)



**Figura 1.** Relación entre contenido de lignina como fracción de la Fibra en detergente neutro y la disponibilidad de energía y proteína metabolizable para sostener una producción de leche determinada (Adaptado de Juarez Lagunes, 1998)



**Figura 2.** Efecto de la tasa de degradación de la fracción B<sub>3</sub> de la proteína cruda en pastos tropicales, y su influencia sobre la disponibilidad de energía y proteína metabolizable para leche (Adaptado de Juárez Lagunes, 1998).

## **Primera Reunión de la Red Temática de Recursos Forrajeros – Junio 2004**

En el trabajo de Rueda *et al* (2003), se evaluó el desempeño animal en varias fincas de la región amazónica occidental de Brasil (Acre). En un primer experimento se evaluó un hato doble propósito con vacas Holstein y P. Suizo por Nellore y 2 sistemas de engorde de novillos Nellore, pastoreando praderas de *B. decumbens* asociado a Kudzu (vacas) y *B. brizantha* mas *B. decumbens* (novillos). Se utilizó el CNCPS (v 4.0) para predecir valores nutritivos en los forrajes, EM y PM disponibles y requerimientos animales, para obtener una línea base de calibración. La composición química de las gramíneas no difirió significativamente, pero la de Kudzú tuvo mayor PC, lignina, Nitrógeno insoluble en detergente Neutro (NIDN) y en ácido (NIDA) y menos MS, FDN y Psol. Las predicciones del CNCPS para consumo estuvieron 4% por debajo de la predicción para ajustarse a las producciones de leche observadas en las vacas D.P (5.4 a 8.1 kg /d para época de lluvia y final de sequía respectivamente). En el balance de PM se encontró un exceso de 6%, indicando que ambos pastos asociados a Kudzu (10% de la pradera) proporcionaron proteína por encima de los requerimientos para la producción de leche observada. Este desequilibrio sugiere que la energía es la limitante principal en este tipo de sistemas de pastoreo. Para novillos en finalización, el consumo predicho mediante una ecuación empírica fue 10% menor que el predicho por CNCPS (2.5% Peso Vivo), pero las predicciones fueron similares para novillos en crecimiento (2.1% Peso Vivo).

El estudio concluyó que estos pastos difieren en composición nutricional entre las épocas muy lluviosas y menos lluviosas; contienen menos energía, mas FDN y proteína insoluble en detergente Neutro (NDIP) en los meses mas lluviosos. La simulación indicó que la EM es la limitante bajo el escenario de línea base y que la PM es limitante a una producción de leche mas alta. *B. brizantha* proporciona mas PM que *B. decumbens* para soportar la lactancia.

Los autores deducen que las variaciones estacionales en calidad de forraje sugieren que la suplementación con concentrados es necesaria durante los meses de mayor precipitación, en contraste con la recomendación común de usar suplementos en épocas secas.

El estudio de Molina *et al* (2004) evaluó las predicciones de consumo voluntario del CNCPS contra mediciones directas en vacas D. P. pastoreando *P. maximun* y *C. nlenfluensis* (Estrella) utilizando la técnica de Alkanos, en tres experimentos separados en la costa norte de Honduras. El primer experimento fue diseñado para vacas en confinamiento y los otros dos con vacas en pastoreo rotacional. En el primer experimento la desviación entre consumo predicho y medido fue solo de 0.19 Kg MS /d, pero en los otros dos, la desviación fue considerable y el consumo fue subestimado por CNCPS. En el tercer experimento encontraron diferentes grados de precisión entre observado y predicho. Para los tres, la pendiente de la regresión no fue diferente de la unidad pero el intercepto fue significativamente diferente de cero. Los autores concluyen que la medición con precisión del consumo bajo pastoreo es difícil de lograr y que hay errores en la medición de consumo asociados al método de medición por Alkanos, contribuyendo a las desviaciones en la predicción dada por CNCPS.

### **Viabilidad de la aplicación del CNCPS en los sistemas bovinos colombianos**

La aplicación de un modelo como CNCPS, en Colombia, se presenta como una oportunidad real de mejorar la calidad de información experimental, desde un diseño de campo hasta la interpretación de resultados. Ofrece la oportunidad de estudiar variables y características de los elementos y compartimientos involucrados en la evaluación de

## **Primera Reunión de la Red Temática de Recursos Forrajeros – Junio 2004**

sistemas de alimentación basados en pastos y forrajes, sin incurrir en montajes experimentales de alto costo, difíciles de financiar bajo las actuales circunstancias económicas en los países en desarrollo como Colombia.

Las necesidades de información para CNCPS, concernientes a características del o los animales y su manejo son actualmente disponibles en la mayoría de las fincas. No ocurre lo mismo con información agronómica y de composición química de los forrajes y otros alimentos utilizados en la producción bovina. Se destaca principalmente la ausencia de datos sobre crecimiento, producción y manejo de cada especie en cada una de las regiones ganaderas. Mas limitante es aun la falta de información amplia y confiable de análisis químicos completos, incluyendo el fraccionamiento de los componentes principales (proteína y carbohidratos) y sus tasas de degradación y pasaje. La aplicación y la experimentación con métodos para medir y estimar el consumo voluntario en pastoreo ,ha sido el principal obstáculo para la implementación de ecuaciones y modelos de predicción del comportamiento animal en pastoreo libre.

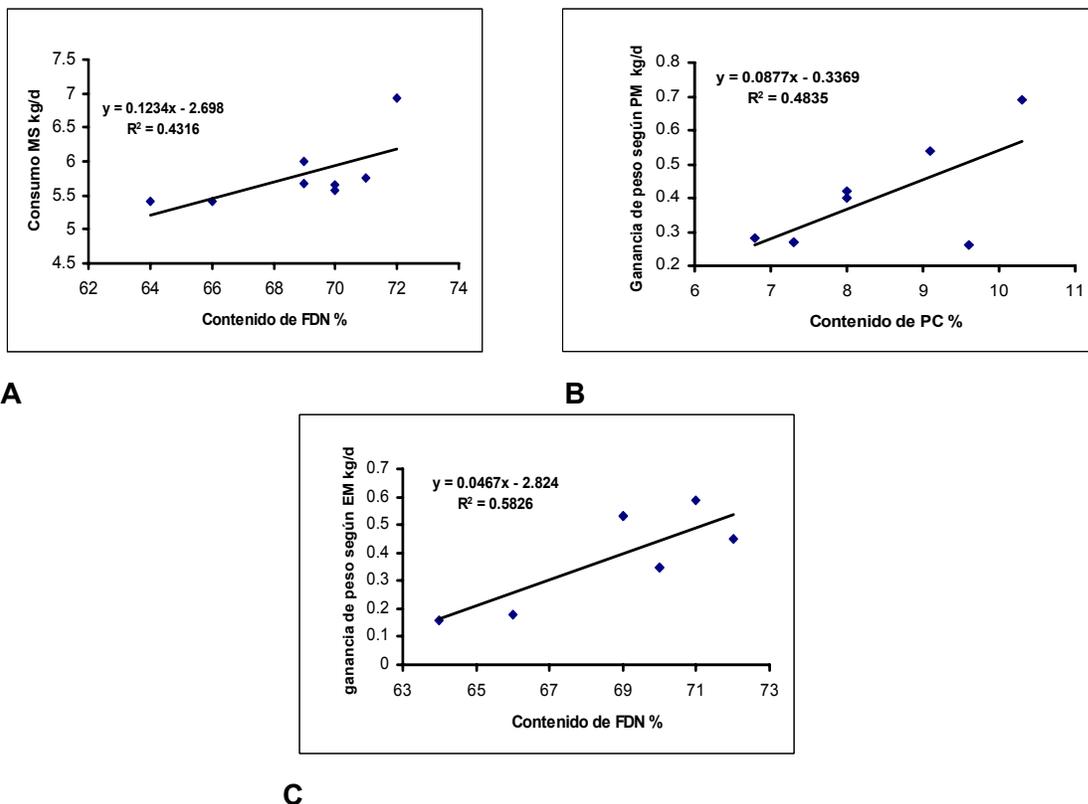
Actualmente, el programa de Fisiología y Nutrición viene construyendo una base de datos de composición nutricional para todos los forrajes y alimentos existentes en Colombia Base de Recursos Alimenticios para Animales (BRAPA), con una interfase conectada a las versiones 4.031 y 5.017 del CNCPS, que comprenden 73 campos de datos para cada registro (forraje o alimento), relacionando cada registro con información de localidad de procedencia, época de cosecha, tratamiento industrial, fertilización o no en el caso de pastos y cultivos forrajeros y microregión correspondiente. Adicionalmente, los alimentos se agrupan de acuerdo a la clasificación internacional y a la estructura de las bibliotecas del CNCPS en: Alimentos comerciales o concentrados, gramíneas, leguminosas, concentrados energéticos, concentrados proteicos, cultivos forrajeros, fuentes minerales y “malezas”. Se requiere reestructurar el programa para adecuarlo a las versiones posteriores a la 5.027 para incluir los nuevos campos que han sido añadidos a las bibliotecas del CNCPS.

### **Simulaciones con datos colombianos**

Durante el verano de 2004 se realizo un monitoreo de novillos en crecimiento Cebú comercial con algún grado de cruce lechero, bajo pastoreo rotacional en una finca del Magdalena Medio Santandereano dentro de un proyecto para validar un modelo de pastoreo. Se utilizaron 8 potreros de pasto *Brachiaria humidicola* con un tamaño entre 1.16 ha y 2.2 ha, en una rotación de 4 días de ocupación y 28 de descanso sin ajustes. A cada potrero se le realizó análisis bromatológico tradicional y estos datos se introdujeron en la Biblioteca tropical del CNCPS (Tedeschi et al, 2000<sup>a</sup>), reemplazando los valores originales para este pasto. La simulación se corrió para cada potrero por separado y se comparó la ganancia de peso promedio predicha contra la observada. La predicción sobreestimó la ganancia en 44 gramos o 12.7 % (390 g /d vs. 346 g /d). El balance de proteína / energía fue adecuado para los potreros 4 y 7. La EM fue deficiente en los potreros 1, 2 y 8 al quedar un exceso de PM. La PM fue deficiente en los potreros 3, 5 y 6 al soportar una ganancia inferior a la de la EM. De acuerdo a la composición química del forraje en cada lote y a las tasas de degradación de las diferentes fracciones, los resultados en cada potrero no son iguales, lo que puede ser más cercano a la realidad, si se pesaran los novillos cada cuatro días con el análisis nutricional completo para todos los potreros.

## Primera Reunión de la Red Temática de Recursos Forrajeros – Junio 2004

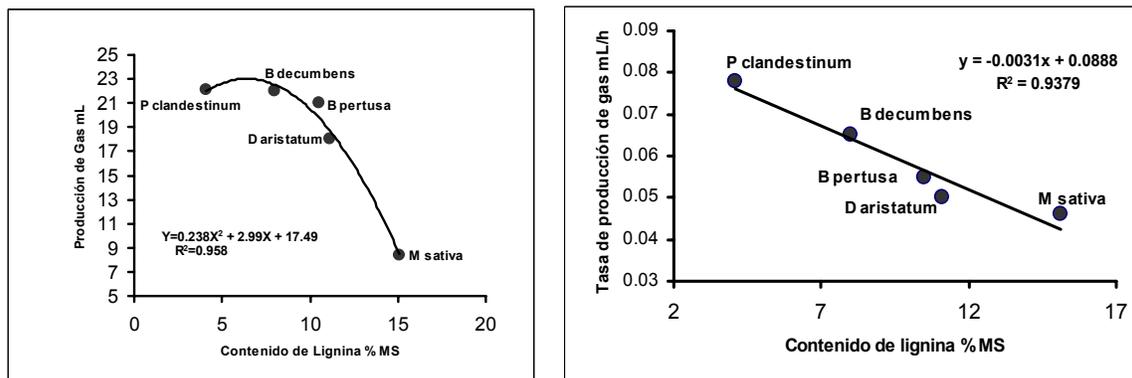
El análisis por regresión lineal simple entre variables de calidad y respuesta animal predicha, muestra una alta dependencia de la energía metabolizable para ganancia de peso y consumo de MS, del contenido de FDN en el forraje de cada potrero; al igual, la PM para ganancia de peso está altamente influenciada por el contenido de PC en el forraje (Ver figura 3)



**Figura 3.** Relaciones entre variables de calidad en el pasto *B. humidicola* con rotación cada 28 días, en época seca y su capacidad para soportar ganancia de peso en novillos cebú comercial. **A-** efecto del contenido de FDN en el consumo de MS. **B-** Efecto del contenido de PC sobre la cantidad de PM para ganar peso. **C-** Efecto del contenido de FDN sobre la cantidad de EM para ganar peso.

Sin embargo, se sabe que las relaciones son mucho más complejas donde intervienen otras variables. El contenido de proteína cruda y su composición tienen un efecto sobre la eficiencia de conversión de los carbohidratos en proteína microbiana y afecta la cantidad de PM generada en la fermentación ruminal (Fox et al, 2000). La Lignina por otro lado, afecta la digestibilidad de la fracción fibrosa. En este caso la lignina se mantuvo constante en la composición del forraje en todos los potreros, porque no se realizó este análisis.

En trabajos recientes en el laboratorio de Nutrición Animal, se evaluaron 4 gramíneas comunes (kikuyo, braquiaria común, colosuana, angleton y alfalfa como patrón), para determinar las tasas de degradación de las 4 fracciones de carbohidratos, y completar la caracterización nutricional requerida por el CNCPS. Se encontró un efecto marcado del contenido de lignina sobre la producción de gas *In Vitro* (Figura 4), cuando se incubó el FDN extraído de cada pasto durante 48 horas con fluido ruminal de acuerdo con Pell et al, (1993).



**Figura 4.** Efecto del contenido de lignina sobre la producción de gas in Vitro de cuatro gramíneas tropicales y una leguminosa

Como en el CNCPS se asume que la tasa de producción de gas es equiparable a la tasa de producción de bacterias, a medida que se incrementa la concentración de lignina, se reduce la cantidad de gas producido y su tasa de producción (ver Figura 4), lo que disminuye el potencial energético del forraje drásticamente, teniendo de presente que el FDN o fibra representa entre el 40 y el 75% de la materia seca de un forraje y es la principal fuente de energía para el crecimiento de las bacterias ruminales de los bovinos y ovinos del trópico.

Las anteriores consideraciones, ponen de presente que la confiabilidad de los datos agronómicos y de laboratorio, más su exactitud para reflejar las características de un forraje, son determinantes para lograr predicciones acertadas cuando se usan modelos de predicción con un alto grado de agregación de componentes como el CNCPS. Si las predicciones obtenidas son válidas, la calidad y la cantidad de información que se puede obtener a través de estas herramientas, mejorarán el entendimiento de los sistemas reales y las posibilidades de mejorarlos en un tiempo mucho menor que el que se requiere actualmente.

La capacidad técnica, incluyendo la experiencia y la preparación de los investigadores en Corpoica, sus facilidades de laboratorio y equipo garantiza y permite el abordaje de proyectos encaminados a utilizar modelos como el CNCPS en la evaluación de sistemas alimenticios basados en praderas, como herramienta de soporte en la investigación y en el desarrollo de tecnologías de mayor precisión, para la producción racional y eficiente de forrajes, carne y leche.

### Grupos de investigadores en CNCPS

1. Departamento de Ciencias Animales, Cornell University, EEUU. Equipo desarrollador:
  - Dr. Dany G. Fox ([dqf4@cornell.edu](mailto:dqf4@cornell.edu))
  - Dra. Alice N. Pell ([ap19@cornell.edu](mailto:ap19@cornell.edu))
  - Dr. Tom Tylutki ([tpt1@cornell.edu](mailto:tpt1@cornell.edu))
  - Dr. Luis O. Tedeschi ([lot1@cornell.edu](mailto:lot1@cornell.edu))
  - Michael Van Amburgh ([mev1@cornell.edu](mailto:mev1@cornell.edu))

## **Primera Reunión de la Red Temática de Recursos Forrajeros – Junio 2004**

2. Universidad de Yucatán, México.
  - Dr. F. I. Juarez Lagunez
  - Dr. Robert Blake (Cornell University, Profesor Invitado, [rwb5@cornell.edu](mailto:rwb5@cornell.edu) )
3. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, Veracruz, México
  - Dra. Berta L. Rueda
4. Departamento Programa Animal USP, ESALQ, Piracicaba, Brasil.
  - Dante P. Duarte Lanna
5. Departamento de Zootecnia, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras (hasta 2003 pos doctoral en Cornell).
  - Dr. Denis O. Molina ( [dom2@cornell.edu](mailto:dom2@cornell.edu) )

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1- Andrew, S.M., Waldo, D.R., Erdman, R. A., 1994. Direct analysis of body composition of dairy cows at three physiological stages. *J. Dairy Sci.* 77, 3022–3033.
- 2- Baldwin, R. L. 1995. Lactation, Background on Molly.csl. IN: Modeling ruminant digestion and metabolism. Chapman & Hall. (First Ed.), pp: 469-518
- 3- Baldwin, R.L., 2000. History and future of modeling nutrient utilization in farm animals. IN. Modeling Nutrient Utilization in Farm Animals, Cab International (J.P. McNamara, J. France and D.E. Beaver, Eds.), 1-10
- 4- Dijkstra, J., Neal, H.D. St. C., J. France, ., Beaver, D.E. 1992, Simulation of nutrient digestion. Absorption and outflow in the rumen. Model description. *J. Nutr.* 122:2239-2256.
- 5- Foster, D. M., R. C. Boston, 1997, Using computer simulation models of physiological metabolic processes in laboratory animals. *ILAR Journal*, 38(2), 1-24.
- 6- Fox, D. G., L. O. Tedeschi, T. P. Tylutki, J. B. Russell, M. E. Amburgh, L. E. Chase, A. N. Pell, T. R. Overton. 2004. The Cornell Net Carbohydrate and protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 112, 29-78.
- 7- Fox, D.G., Tylutki, T.P., Tedeschi, L.O., Van Amburgh, M.E., Chase, L.E., Pell, A.N., Overton, T.R., Russell, J.B., 2000. The Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Herd Nutrition and Nutrient Excretion: Model Documentation. Mimeo No. 213, Animal Science Department, Cornell University, Ithaca, NY.
- 8- Gill, M., D. E. Beaver, and J. France, 1989, Biochemical bases needed for the mathematical representation of whole animal metabolism. *Nutr. Abs. Reviews.* 2:181
- 9- Guada, J. A. 1996, Características del sistema de Cornell (CNCPS) como modelo de valoración proteica y energética para rumiantes. XXII Curso de Especialización, Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, FEDNA.
- 10- Kolver, E.S., Muller, L.D., Barry, M.C., Penno, J.W., 1998. Evaluation and application of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System for dairy cows fed diets based on pasture. *J. Dairy Sci.* 81, 2029–2039.
- 11- Juarez Lagunes, F.I., Fox, D. G., Blake, R. W., Pell, A.N., 1999. Evaluation of tropical grasses for milk production by dual-purpose cows in tropical Mexico. *J. Dairy Sci.* 82, 2136–2145.
- 12- Lanna, D.P.D., Fox, D.G., Boin, C., Traxler, M.J., Barry, M.C., 1996. Validation of the CNCPS estimates of nutrient requirements of growing and lactating Zebu germplasm in tropical conditions. *J. Anim. Sci.* 74, 287.

## **Primera Reunión de la Red Temática de Recursos Forrajeros – Junio 2004**

- 13- Lanna, R. P., Vélez, M., Flores, A., 1998. Predicting forage indigestible NDF from lignin concentration. *J. Anim. Sci.* 76, 1469–1480.
- 14- Milligan, R.A., Chase, L.E., Sniffen, C.J., Knoblauch, W.A., 1981. Least-cost Balanced Dairy Rations. *Anim. Sci. Mimeo No. 54.* Cornell University, Ithaca, NY.
- 15- Molina, O. D. , I. Matamoros, Z. Almeida, L. O. Tedeschi, A. N. Pell. 2004. Evaluation of the dry matter intake predictions of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System with Holstein and dual-purpose lactating cattle in the tropics. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 114, 261-278.
- 16- NRC, 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, seventh ed. (updated). National Academy Press, Washington, DC.
- 17- NRC, 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, Seventh Ed. National Academy Press, Washington, DC.
- 18- Pell, A. N., P. Schofield, and W. C. Stone, 1993. Rates of digestion measured in vitro with computers. *Cornell Nutr. Conf. For Feed Manufacturers*, 74-81
- 19- Rueda, B.L., R.W. Blake, C.F. Nicholson, D.G. Fox, L.O. Tedeschi, A. N. Pell, E.C.M. Fernandes, J. M. Valentim, J.C. Carneiro 2003. Production and Economic Potentials of Cattle in Pasture-based Systems of the Western Amazon of Brazil. *J. Anim. Sci.*, 81:2923-2937
- 20- Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Pell, A.N., Lanna, D.P.D., Boin, C., 2002a. Development and evaluation of a tropical feed library for the Cornell Net Carbohydrate and Protein System model. *Scientia Agricola.* 59, 1–18.
- 21- Tedeschi, L.O., Boin, C., Fox, D.G., Leme, P.R., Alleoni, G.F., Lanna, D.P.D., 2002b. Energy requirement for maintenance and growth of Nellore bulls and steers fed high-forage diets. *J. Anim. Sci.* 80, 1671–1682.
- 22- Traxler, M.J., Fox, D.G., Van Soest, P.J., Pell, A.N., Lascano, C.E., Lanna, D.P.D., Moore, J.E., R.P. Lana, M. Velez and A. Florez, 1998. Predicting forage indigestible NDF from lignin concentration. *J. Anim. Sci.*, 76:1469-480.
- 23- Tilutky, T.P., Fox, D.G., 1997. Application of the Cornell nutrient management planning system: optimizing herd nutrition. In: *Proceedings of the Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers.* New York State College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University, pp. 54–65.
- 24- Van Amburgh, M.E., Fox, D.G., Galton, D.M., Bauman, D.E., Chase, L.E., 1998. Evaluation of National Research Council and Cornell Net Carbohydrate and Protein Systems for predicting requirements of Holstein heifers. *J. Dairy Sci.* 81, 509–526.
- 25- Weiss, W.P., 1993. Predicting energy values of feeds. *J. Dairy Sci.* 76, 1802–1811.