

ARTÍCULO CIENTÍFICO

Luis Carlos Arreaza¹, Alberto Franco², Jorge Mayorga³, Henry Mateus⁴, Oscar Pardo⁵, Leonardo Sánchez⁶, Justo Barros⁷, Otoniel Pérez⁸

ABSTRACT

Title: MEP-2™: A computer simulation model for tropical pasture management. I – Model description

A software called *Manejo Experto de Praderas* (MEP 2.0™) was designed for simulating pasture use by cattle for predicting optimum pasture grazing and rest periods based on biomass yield, nutritive value and feed intake, according to a dry matter intake (DMI) simulation model. The programme was previously written on a spreadsheet and then transferred to Visual Basic 6™. The basic information relating to farm, animals, grazing system and grass species was stored in Access™ format. The programme structure was built into six sequentially opening windows. Two were for calculating forage yield according to grass growth type (lying or erect). Two windows were for farm and paddock data and the last two windows were for results; one was for numerical results and one for interpreting numerical results with recommendations for improving grazing management on cattle farms. The project was aimed at helping farmers by providing them with a tool for better decision-making in pasture management, contributing towards pasture sustainability and greater animal efficiency.

Key words: Pasture management, computer simulation model, grazing cattle.

Recibido: febrero 2 de 2005.
Aceptado: mayo 2 de 2005.

1. Investigador Programa de Fisiología y Nutrición Animal, C.I. Tibaitatá, Cundinamarca.
2. Investigador Programa de Biometría, C.I. Tibaitatá, Cundinamarca.
3. Ingeniero eléctrico, mp3colombia@yahoo.com
4. Investigador Programa de Fisiología y Nutrición Animal, C.I. El Nus, Antioquia.
5. Investigador, Programa de Fisiología y Nutrición Animal, C.I. La Libertad, Meta.
6. Investigador Programa de Fisiología y Nutrición Animal, C.I. Tibaitatá, Cundinamarca.
7. Investigador Programa de Fisiología y Nutrición Animal, E.E. Motilonia, Cesar.
8. Investigador Programa de Fisiología y Nutrición Animal, C.I. La Libertad, Meta.

MEP-2®: Programa de computador para manejo de praderas con bovinos en el trópico colombiano. I – Desarrollo informático

RESUMEN

Se diseñó y desarrolló una herramienta informática (Manejo Experto de Praderas: MEP-2®) para simular el comportamiento de las gramíneas tropicales frente al pastoreo con bovinos y para establecer los períodos de uso y recuperación de las praderas, en función de la producción de biomasa comestible, su calidad y consumo por parte de los animales. Así mismo, MEP-2® incorpora variables de calidad del forraje y de distensión del rumen, de acuerdo con un modelo de simulación de consumo de materia seca (MS) simple y de fácil implementación. El sistema fue estructurado previamente en hoja de cálculo y posteriormente trasladado a Visual Basic 6™; la información de identificación de la finca, tipo de ganado, especies de pastos y sistema de pastoreo se almacenó en formato Access™. El programa consta de seis ventanas que se abren secuencialmente una vez se diligencia la información solicitada: dos ventanas corresponden a la evaluación de la disponibilidad de forraje según el tipo de gramínea: erecta o postrada. Otras dos ventanas registran información de la finca y las praderas con sus características individuales. De las dos ventanas finales, una corresponde a los resultados de la simulación y la otra a su interpretación, además de algunas recomendaciones generales. El propósito de la herramienta es proporcionar a ganaderos y asistentes técnicos un sistema objetivo para la toma de decisiones en el manejo de las praderas contribuyendo de esta manera a su sostenibilidad y a una mayor eficiencia de los animales.

Palabras clave: Administración de praderas, modelos de simulación computarizados, pastoreo.

INTRODUCCIÓN

EL USO DE HERRAMIENTAS informáticas en los procesos de producción agropecuarios se ha incrementando considerablemente durante los últimos 15 años como consecuencia del avance en la industria de los ordenadores y del desarrollo de lenguajes de programación de alto nivel que han hecho posible construir modelos de simulación cada vez más complejos. Al mismo tiempo, los mercados de bienes y servicios se han fragmentado y especializado exigiendo productos diferenciados. Esto ha generado una necesidad de mejorar los sistemas de producción a fin de que sean más eficientes y competitivos. Por otro lado, la sociedad y la comunidad internacional han impulsado a los factores de producción hacia la conformación de sistemas más eficientes en el uso de recursos y menos detrimentales con el ambiente (Criado-Briz, 2003).

En este contexto, los sistemas ganaderos han sido criticados por ser altamente

ineficientes, degradando y contaminando los recursos naturales y el medio ambiente. Se sabe que los rumiantes bajo las condiciones de pastoreo en el trópico son ineficientes comparados con los animales de regiones templadas cuyas dietas, constituidas por combinaciones de forrajes y concentrados, permiten una mayor eficiencia de fermentación en el rumen que se traduce en reducción de las emisiones de gases de calentamiento global (Leng, 1993).

Consumo voluntario en pastoreo

El consumo voluntario de los bovinos en pastoreo está limitado por la capacidad del retículo-rumen y la tasa de vaciado de este compartimiento (Conrad, 1996; Ellis, 1978; citados por Hyer *et al.*, 1991). Por tanto, el llenado del rumen y las tasas de digestión y pasaje regulan en gran medida el consumo voluntario en los bovinos bajo pastoreo. Por otro lado, Conrad, Pratt y Hibbs (1964) y Hol-

mes y Wilson (1989) indican que dentro de los rangos de digestibilidad comunes (45-65%) para la mayoría de las especies forrajeras tropicales, el consumo voluntario se relaciona con el peso del animal y la digestibilidad del alimento; de esta manera, el consumo de forraje se incrementa al aumentar su digestibilidad.

El ritmo de reducción de tamaño de partícula es uno de los factores claves para regular la velocidad de paso, pues a mayor velocidad, más rápida será la descarga del rumen y mayor la cantidad de alimento que el animal puede consumir (Holmes y Wilson, 1989). Fisher (1996) desarrolló una ecuación de predicción de consumo basada en algunas características del forraje consumido: digestibilidad de la materia seca (MS), contenido de proteína (P), carbohidratos solubles (NDS), fibra digestible, fibra indigestible y relaciones de llenado y distensión ruminal como señales de retroalimentación, lo que hace que el modelo requiera poca información de entrada la cual es de fácil obtención.

Utilización de las praderas

Existe un rango amplio de alternativas en la utilización de los pastos, desde el sistema de corte y acarreo hasta el sistema de pastoreo continuo, pasando por sistemas de pastoreo diferido, pastoreo alterno, pastoreo rotacional con pocas praderas, pastoreo rotacional intensivo diario (franjas con cuerda eléctrica) y otros (Toledo, 1983).

La producción de forrajes tropicales depende de un conjunto de factores que interactúan de manera compleja. Involucra variables climáticas como temperatura, precipitación y radiación solar; también, la capacidad del suelo para suministrar nutrientes y la cantidad de agua acumulada en el suelo en el área de la raíz; así mismo, los efectos del régimen de defoliación anterior y el actual. Otros factores que contribuyen a hacer más compleja la producción de biomasa son, por una parte, las toxicidades ocasionadas por el pH bajo, lo que suele traducirse en altas concentraciones de aluminio y magnesio solubles; por otra parte se encuentra el exceso de sales solubles en el suelo. Finalmente, hay factores de índole biológica, como la competencia de otras especies como gramíneas, leguminosas y malezas (Jones, 1983).

La eficiencia de utilización de una pradera se puede concebir como la manera a través de la cual la materia seca vegetal se convierte en producto animal (Noy-

Meir, 1978, citado por Tergas, 1983). El consumo o utilización del forraje y la producción animal están relacionados con la cantidad de especies forrajeras presentes en la pradera. Si los demás factores asociados al consumo de forrajes en pastoreo permanecieran más o menos constantes, la producción animal por unidad de área debería relacionarse directamente con la disponibilidad del pasto y su calidad (Tergas, 1983).

Factores que influyen en el manejo de praderas

El objetivo principal del manejo de praderas es asegurar la productividad animal en el largo plazo, manteniendo la estabilidad de la pradera y su composición botánica, es decir, la asociación con otras especies forrajeras. Entre los factores que más afectan la utilización de la pradera se consideran: la carga animal, los sistemas de pastoreo y la duración de los períodos de descanso y ocupación en la rotación (Tergas, 1983).

La carga animal. Es el factor con mayor influencia en la utilización del forraje, pues existe una fuerte interacción entre la disponibilidad de forraje, como resultado del crecimiento de las plantas, y la defoliación y consumo por los animales. La persistencia de la especie en la pradera, especialmente de las leguminosas, está influida por la carga animal y varía de acuerdo con las características morfológicas y fisiológicas de las plantas. Una de las relaciones importantes en el manejo de praderas es la relación entre carga animal y ganancia de peso, que se ha definido como una relación inversa: a menor carga, mayor ganancia de peso. De esta apreciación se desprendió el concepto de "presión de pastoreo" como una medida más adecuada para evaluar el manejo de praderas, pues se expresa como la cantidad de materia seca (MS) de forraje presente por animal en el potrero.

Sistemas de pastoreo. La mayor parte de los trabajos de investigación respecto de la utilización de praderas tropicales con gramíneas y leguminosas se han realizado bajo condiciones de pastoreo continuo; además, se sabe que las ventajas del pastoreo rotacional se presentan únicamente con cargas altas. Los resultados de trabajos, tanto en Australia como en África, no son consistentes en el sentido de si la producción animal es mejor en sistemas semiextensivos o en rotacionales. Algunos estudios en la

zona templada señalan la existencia de una interacción entre especies cuando se trabaja con asociaciones gramínea-leguminosa, al comparar pastoreos continuos con rotacionales y diferentes cargas, de lo cual se deduce que las cargas bajas favorecían el pastoreo continuo y las cargas altas favorecían el rotacional (Henning et al, 2001).

Períodos de ocupación y descanso. Las combinaciones de días de ocupación y de descanso de un pradera conforman todos los sistemas de pastoreo que van desde ningún día de descanso (continuo) hasta los sistemas de rotación con períodos variables de ocupación y descanso (Paladines y Lascano, 1983).

El período de ocupación de un pradera interactúa con la presión de pastoreo o carga para definir el grado de utilización del forraje en oferta, tanto de las especies en asociación, como de las partes de la planta. El período de descanso, es decir, el otro componente de una rotación, interactúa con el período de ocupación, con la presión de pastoreo y con la época del año para determinar el grado de acumulación y calidad de la biomasa disponible para el animal en pastoreo (Paladines y Lascano 1983). El período de descanso puede ejercer un efecto en la composición botánica de la pradera: cuando es muy prolongado pueden resultar en crecimiento excesivo de gramíneas erectas, de leguminosas de baja palatabilidad y de malezas, lo cual se traduce en un sombreado perjudicial y una competencia excesiva de la especie predominante que se derivan de su bajo consumo.

La duración del período de descanso está directamente relacionada con el sistema de pastoreo rotacional porque existe interacción entre la defoliación del pasto por los animales, el área foliar presente después del pastoreo y el período de descanso de la pradera entre pastoreos, sinergia de la cual depende la producción de pasto renovada.

Debido a la creciente complejidad involucrada en el manejo de sistemas pastoriles, se ha intentado el desarrollo de herramientas computacionales que puedan asistir en la administración de estos sistemas de producción. Estas herramientas se conocen como "sistemas de apoyo a la toma de decisiones" (SATD) y, como lo indica su nombre, sólo pretenden asistir o apoyar la toma de decisiones y no reemplazarla. En el caso de los sistemas pastoriles, es posible diseñar un sistema de apoyo a la toma de decisiones basado

en un modelo de simulación de animales en pastoreo para ayudar en la toma de decisiones sobre dos tipos de problemas: a) problemas tácticos de la alimentación o manejo diario de los animales, es decir, cómo alimentarlos día a día; y b) problemas estratégicos de largo plazo referidos, por ejemplo, a cómo satisfacer los requerimientos animales con relación a un suministro de forrajes que varía periódicamente, por medio de ajustes en la carga animal, en las fechas de servicio o de apareamiento, en la conservación de forrajes, y por medio de diversas combinaciones de éstas y otras prácticas de manejo y alimentación (Holmann, 2002).

El sector productivo requiere cada vez más la planificación de sus actividades, lo cual se asocia con la predicción de las respuestas de los sistemas a los cambios y señales del entorno. De ello ha surgido la necesidad de acudir a sistemas computarizados para el manejo simultáneo de múltiples variables que, de otra manera, requerirían mayor tiempo y recursos para su análisis.

En general, los sistemas de pastoreo se manejan de forma empírica de acuerdo con la experiencia de los propietarios, administradores de finca y asistentes técnicos. Salvo los sistemas de leche especializados de la región andina colombiana, la administración de praderas no suele tener en cuenta variables como la producción de biomasa, la época climática, la calidad nutritiva del forraje, el tipo de animal y sus requerimientos nutricionales de acuerdo con su función y estado fisiológico.

Propósito de la herramienta

El programa MEP-2[®] se diseñó como una herramienta para valorar la capacidad de sostenimiento de las praderas de acuerdo con las variables mencionadas; incorpora submodelos de simulación del consumo voluntario de los animales, el cual está regulado por algunas variables de calidad nutricional del pasto. Como productos, el programa genera una evaluación objetiva de la producción de forraje en cada pradera de la finca, una estimación del consumo de materia seca (MS) por parte de los animales y los períodos de descanso y utilización de la pradera, con el fin de mejorar su sostenibilidad, reducir costos e incrementar el tiempo entre renovaciones. MEP2[®] posee una estructura sencilla y requiere pocos datos de entrada, siendo entonces de uso rápido, simple y apropiado para ganaderos y asistentes técnicos (Figura 1).



Figura 1. Interfaz de entrada al programa MEP-2.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estructuración del programa y funcionamiento

El programa fue construido en Visual Basic 6TM y consta de cuatro ventanas con pestaña para abrir dos ventanas ocultas relativas al aforo de la pradera. La primera ventana permite ingresar la información de referencia (propietario, dirección, localización y nombre de finca), el sistema de pastoreo usado, los animales y su peso promedio. La segunda ventana corresponde a los datos de los praderas, la cual genera una matriz u hoja electrónica acorde con el sistema de pastoreo escogido en la primera. La tercera ventana genera los resultados numéricos de la simulación del pastoreo y la última ventana interpreta esos resultados dando una calificación a cada uno y un texto con recomendaciones generales a modo de apoyo para la toma de decisiones.

El programa tiene unas etiquetas para abrir opciones de guardado, impresión y ayuda ("help"). También, un enlace de hipertexto para realizar consultas a la página de Internet de CORPOICA y a los correos electrónicos de los autores del programa. La ayuda corresponde al texto resumido del manual de usuario. Adicionalmente, entre los archivos del programa se incluye el manual de usuario en formato PDF.

Modelo de simulación del consumo voluntario de forraje

Este modelo se incluyó para simular el consumo voluntario de forraje de los animales en pastoreo, el cual requiere poca información acerca de la calidad del forraje suministrado a los animales. El modelo conceptual (Figura 2), se tradujo primero a una hoja de cálculo (MS-ExcelTM), para después traducirlo a Visual Basic 6TM; de la misma manera, los módulos de cálculo para cada tipo de pastoreo se diseñaron en ExcelTM y se vinculó cada hoja de pastoreo a la hoja del modelo de consumo, por cada pradera, tanto para el sistema de pastoreo alterno, como para el rotacional. El modelo general del programa toma en cuenta los términos siguientes:

$$\text{Tiempo de pastoreo} = f(\text{Disponibilidad (kg MS} \times \text{ha}^{-1} \times \text{área (ha) (consumo voluntario kg)} \times \text{UGG}^{-1} \times \text{No. animales).}$$

$$\text{Tiempo de descanso} = \Sigma \text{días ocupación/ potrero} \times \Sigma \text{potreros} - 1.$$

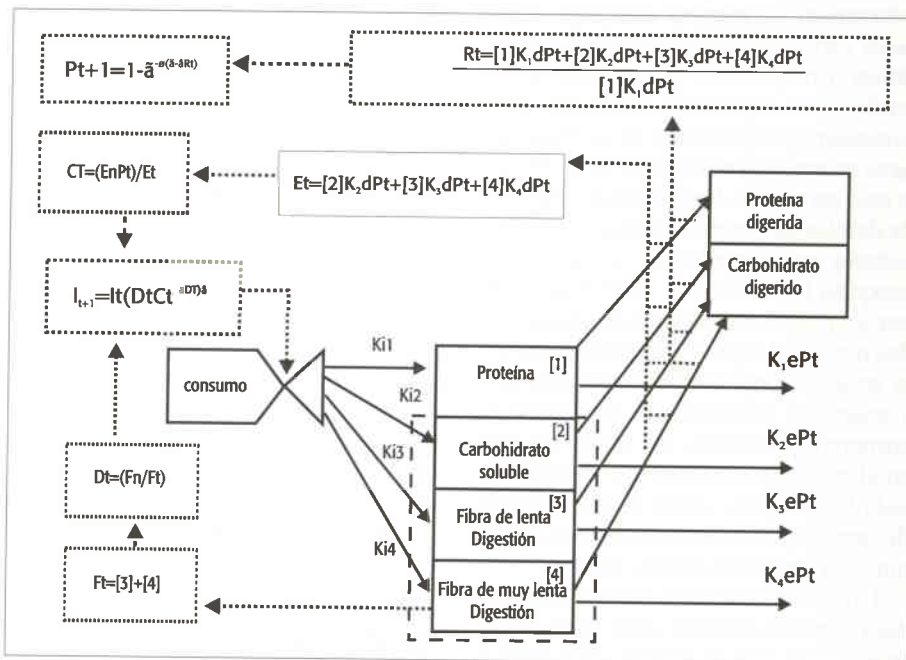


Figura 2. Modelo de consumo voluntario de Fisher, base del programa MEP-2.

Las ecuaciones del submodelo para consumo voluntario (Fisher, 1996) están integradas y representadas en la Figura 2.

Parámetros del modelo de consumo voluntario:

$Ki1 = 0.1 = \text{proteína cruda}/100$: Proporción de proteína en la dieta

$Ki2 = 0.4 = (100 - \text{FDN} - \text{proteína cruda})/100$: Proporción de carbohidratos solubles en la dieta

$Ki3 = 0.5 = (\text{DIVMO}^1 - (100 - \text{FDN}))/100$: Proporción de fibra de degradación lenta en la dieta

$Ki4 = 1.0 = (100 - \text{DIVMO}) / 100$: Proporción de fibra de muy baja degradación en la dieta.

$K1d = 0.1/h$: Tasa de degradación de la proteína cruda en el rumen

$K2d = 0.1/h$: Tasa de degradación de los carbohidratos solubles en el rumen

$K3d = 0.05/h$: Tasa de degradación de la fibra de degradación lenta en el rumen

$K4d = 0.001/h$: Tasa de degradación de la fibra de muy lenta degradación en rumen

$K1e = 0.02/h$: Tasa de pasaje de la fracción de proteína

$K2e = 0.02/h$: Tasa de pasaje de la fracción de carbohidratos solubles

$K3e = 0.02/h$: Tasa de pasaje de la fibra de baja degradación

$K4e = 0.02/h$: Tasa de pasaje de la fibra de muy baja degradación

$Cn = 0.07$: Parámetro de señal química

$Dn = 1.9$: Parámetro de distensión del rumen

$\alpha = 0.2$: Parámetro de ajuste en la ecuación de proteína

$\beta = 5$: Parámetro de ajuste en la ecuación de consumo

Factor "dumping" = 0.2

Nota: estos parámetros representan las tasas de degradación y de pasaje del alimento por el tracto digestivo para cada forraje o alimento particular. Los parámetros "a" y "b" son propios de cada ecuación.

Compartimentos y variables del modelo de consumo (Fisher, 1996):

(1) $\text{Proteína} = 0.1 + (Ki1 * \text{consumo}) - (\text{consumo} * p * (K1d + K1e))$

(2) $\text{NDS}^2 = 0.4 + (Ki2 * \text{consumo}) - (K2d * p * (K2d + k2e))$

1. DIVMO = digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica.

2. NDS = Solubles en Detergente Neutro.

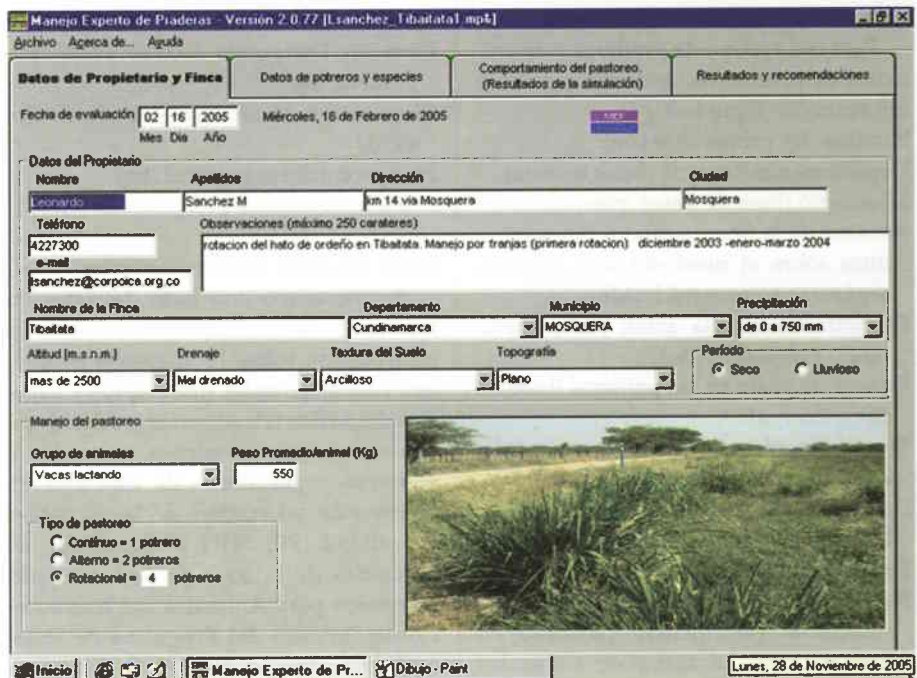


Figura 3. Datos de entrada al programa MEP-2.

(3) $\text{Fibra digestible} = 0.5 + (Ki3 * \text{consumo}) - (0.5 * p * (K3d + K3e))$

(4) $\text{Fibra indigestible} = 1.0 + (K4i * \text{consumo}) - (1.0 * p * (K4d + K4e))$

Auxiliares:

(5) $\text{Proteína digestible} = (1) * p * K1d$

(6) $\text{Carbohidrato digestible} = ((2) * p * K2d) + ((3) * p * K3d) + ((4) * p * K4d)$

(7) $\text{Relación DOM}^3 : \text{CP} = (5) + (6) / (5)$

3. DOM = Materia Orgánica Digestible.

Señales:

(8) $\text{Señal quimiostática} : C = cn / ((2) * K2d) + ((3) * K3d) + ((4) * P * K4d)$

(9) $\text{Señal de distensión} : D = Dn * ((1) + (2) + (3) + (4))$

(10) $\text{Proteína como variable de modulación} : P = 1 - 0.7 - \text{EXP}(-\text{EXP}(3 - (0.3 * (7))))$

(11) $\text{SEÑAL final} = ((8) * ((8) * P) \alpha * ((9) \beta))^{0.2}$

(12) $\text{CONSUMO} = 0.1 * (11) * 24 \Rightarrow \text{consumo como \% peso vivo en 24 horas.}$

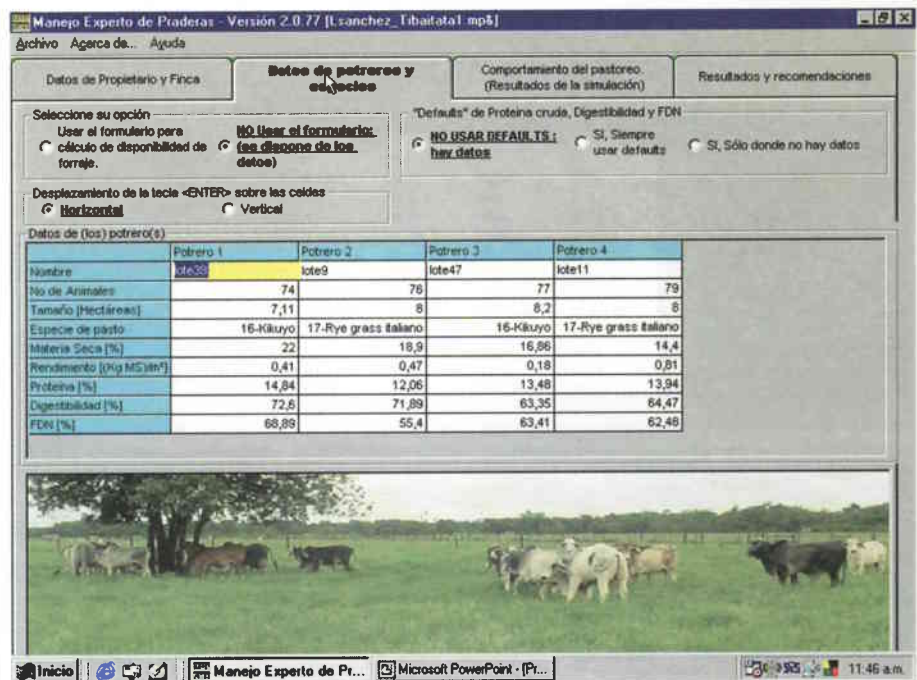


Figura 4. Pantalla para ingreso de datos de las praderas del programa MEP-2.

Entradas del modelo de pastoreo

Para cada grupo de praderas y de animales es preciso recolectar la siguiente información (Figuras 3 y 4):
 Nombre del propietario (nn).
 Departamento (base de datos interna).
 Municipio (base de datos interna).
 Nombre de la finca: (como referencia).
 Altura sobre el nivel del mar (metros, según rango preestablecido).
 Precipitación media anual (mm, según rango preestablecido).
 Especie de pasto en las praderas (base de datos interna).
 Topografía: plana, ligeramente ondulada, fuertemente ondulada (referencial).
 Drenaje: mal drenado, moderadamente, bien drenado (referencial, según rango).
 Época climática: (lluvia o sequía).
 Sistema de pastoreo: continuo, alterno, rotacional (no incluye pastoreo en franjas, pero la suma de todas las franjas corresponden a un pradera o lote).
 No. de praderas (#).
 Área por pradera (1) (ha).
 Área pradera n (ha).
 Nombre de la pradera (1) (referencial).
 Nombre de la pradera n (referencial).
 Aforo o disponibilidad por pradera (1) (MDF⁴ kg/m²).
 Aforo o disponibilidad por pradera (n).
 Materia Seca de la muestra de forraje (%).
 Digestibilidad Forraje (por pradera, %).

4. MDF = Método de Disponibilidad por Frecuencia.

Proteína Cruda Forraje (por pradera, %).
 Fibra en Detergente Neutro FDN (por pradera, %).
 Clase o tipo de animales (estado fisiológico).
 Peso promedio por animal (kg).
 Número de animales en pastoreo (#).

Bases de datos complementarias

Se construyó una base de datos en Microsoft Access™ para almacenar la información sobre localización geográfica (departamento, municipio) y especies de pastos (clasificadas en dos grandes categorías: gramíneas postradas o rastreras y gramíneas de tipo erecto), incluyendo las medias de las variables de calidad (PC, FDN y digestibilidad) obtenidas de la Base de Recursos Alimenticios para Animales del Laboratorio de Química del Programa de Fisiología y Nutrición Animal de CORPOICA (Arreaza et al., 2000); los parámetros de digestión y pasaje para casi todas las especies fueron obtenidos de la biblioteca de alimentos tropicales del sistema CNCPS.

Las simulaciones deben ser corridas por grupos etéreos y grupos de praderas donde se almacenan los resultados de las simulaciones en cada fecha, para cada grupo y máximo por dos años.

Grupos etéreos

Equivalente UGG*

- (1) vacas paridas o con cría y toro.....2.0
- (2) vacas secas o escoterías..... 1.0

- (3) novillas de vientre o reemplazo1.0
 - (4) novillas destetas o de levante.....0.5
 - (5) machos destetos0.5
 - (6) novillos de ceba finalización0.8
 - (7) toros en descanso1.5
 - (8) vacas en ceba.....1.0
 - (9) equinos y mulares (opcional).....2.0
- * Unidad Gran Ganado: UGG = 500 kg peso vivo por defecto (modificable).

Cálculos básicos

Rendimiento de forraje por pradera:

(1) Rendimiento = Aforo (kg/m²) * área (ha) * %MS

Disponibilidad efectiva por pradera:

(2) Disponibilidad efectiva (kg /ha) = Rendimiento (kg/ha) – (rendimiento * pérdida (kg /ha))

Las pérdidas por pisoteo y otras causas para cada sistema de pastoreo se asumen entre 20 y 30% en rotación, 50% en pastoreo alterno y 70% en pastoreo continuo (Henning et al., 2001).

Consumo de forraje por pradera:

Según el modelo de Fisher (% peso vivo * peso promedio /animal, kg)

(3) Consumo por grupo = consumo animal * # animales

Días de pastoreo por pradera:

(4) Disponibilidad efectiva / consumo día grupo = # días

(5) Días de descanso pradera = Días ocupación * (No de praderas - 1)

En este punto se hace la comparación con un valor preestablecido para tipo de pasto, altura sobre el nivel del mar y época para decidir si el pastoreo es adecuado o no y emitir las recomendaciones al respecto.

Cálculo de la carga animal por pradera:

Unidad Gran Ganado: UGG = Peso vivo total (kg) / 500 kg peso vivo (PV)

(6) Carga = UGG / # ha en el sistema disponible por potrero.

En este punto se compara el valor con uno preestablecido como normal para el tipo de pasto y la época.

Presión de pastoreo:

(7) Kg forraje disponible (MS) / Total kg PV / 100 kg de PV. (Figuras 5 y 6).

En este punto se compara con un valor preestablecido de 3 kg de MS /100 kg de PV. Por animal y grupo por día, para decidir si hay forraje sobrante que se desperdicia o si existe un déficit y hacer las recomendaciones respectivas.

Cálculos para pastoreo rotacional

Los cálculos son los mismos para todas las variables, excepto para los días de descanso por pradera que se calculan

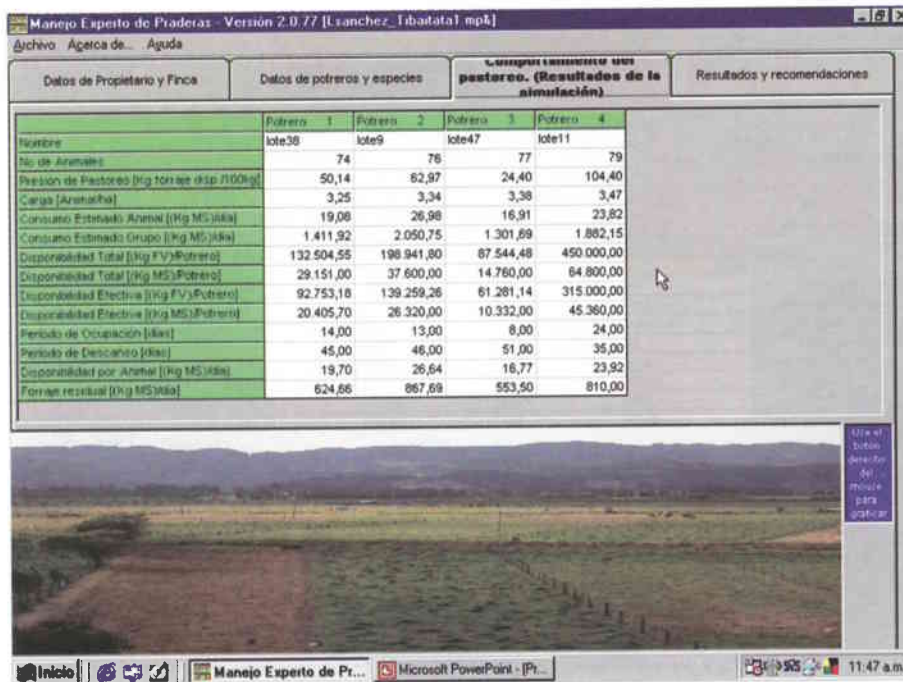


Figura 5. Pantalla de resultados de simulación del pastoreo del programa MEP-2.

para cada pradera según el número de praderas en el sistema y la sumatoria de los días de ocupación o pastoreo de todas las praderas menos los días del pradera en uso actual. Ejemplo: Si se tienen seis praderas de diferente área cada uno entonces:

	Días ocupación	Días descanso
Pradera 1	3	= 4+4+5+3+4 = 20
Pradera 2	4	= 4+5+3+4+3 = 19
Pradera 3	4	= 5+3+4+3+4 = 19
Pradera 4	5	= 3+4+3+4+4 = 18
Pradera 5	3	= 4+3+4+4+5 = 20
Pradera 6	4	= 3+4+4+5+3 = 19
Suma	23	

Las pérdidas por pisoteo y otras causas en el sistema rotacional se estiman entre un 20 y 30 % de la disponibilidad efectiva (Henning et al., 2001).

Salidas del sistema

- (1) Consumo de forraje verde y MS / animal / día.
- (2) Consumo de forraje verde y MS / grupo / día y por tiempo de pastoreo.
- (3) Carga animal UGG por pradera.
- (4) Presión de pastoreo.
- (5) Días de ocupación o pastoreo por pradera o parcela.
- (6) Días de descanso o recuperación por pradera.
- (7) Disponibilidad de forraje verde y de materia seca por pradera (según el método de Disponibilidad por Frecuencia, MDF) (CIAT, 1992).
- (8) Eventos, recomendaciones y explicaciones a cada evento (Figura 7).

RESULTADOS

Verificación del funcionamiento del programa

La verificación del funcionamiento del programa se realizó mediante la introducción de datos observados en una de las fincas donde se monitoreó el pastoreo rotacional con un hato lechero (Centro de Investigaciones Tibaitatá). Se adecuaron cuatro praderas de alrededor de 7 ha de extensión con pasto *Penisetum clandestinum* (Kikuyo) y *Lolium perenne* (Ryegrass) durante la época seca entre enero y marzo y en la estación lluviosa entre abril y junio de 2004. Los bovinos eran de raza Holstein con un peso promedio de 550 kg y edades variadas; se rotaron en las cuatro praderas con un esquema de franjas de un día de pastoreo. Se realizaron dos rotaciones completas, tanto en la sequía como durante la época de lluvias.

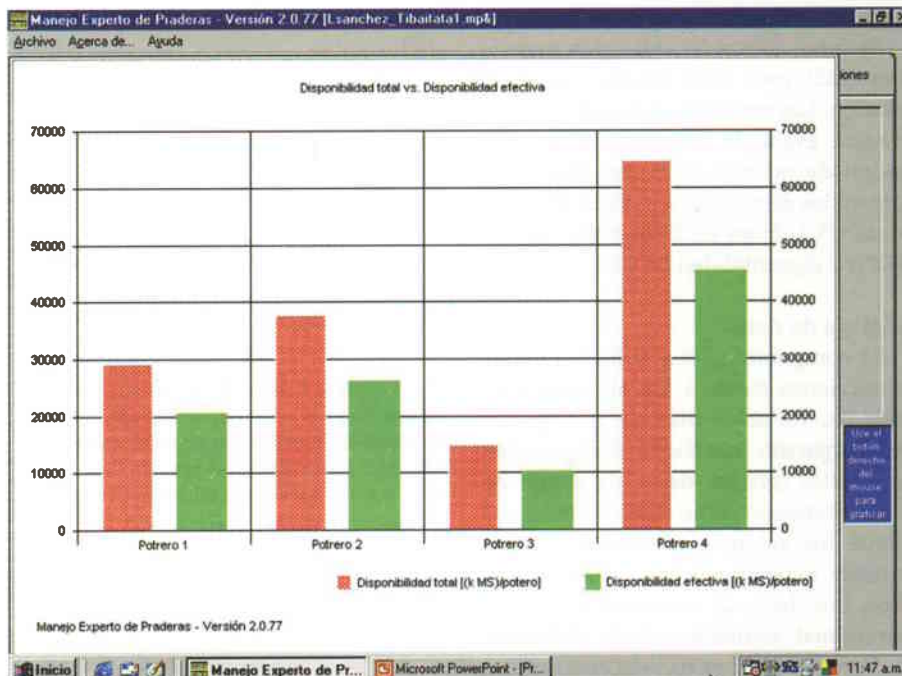


Figura 6. Resultados de disponibilidad de forraje del programa MEP-2.

La comparación de predicciones contra observaciones se llevó a cabo con datos obtenidos de monitoreos en tres sistemas de pastoreo localizados así: en el Pie de Monte del Meta con novillos Cebú de engorde bajo pastoreo alterno de *B. decumbens* en época seca; así mismo, en el Valle del Cesar con vacas doble propósito bajo pastoreo rotacional de *Panicum*

maximum en época seca; finalmente, en el Norte del Magdalena Medio, municipio de Barrancabermeja, con novillos de engorde en pasto *B. humidicola*, tanto en época seca como de lluvias. Cada sistema de pastoreo en cada finca se evaluó pradera por pradera, utilizando el método de disponibilidad por frecuencia (CIAT, 1998). Los datos se introdujeron al programa utilizando las hojas de cálculo

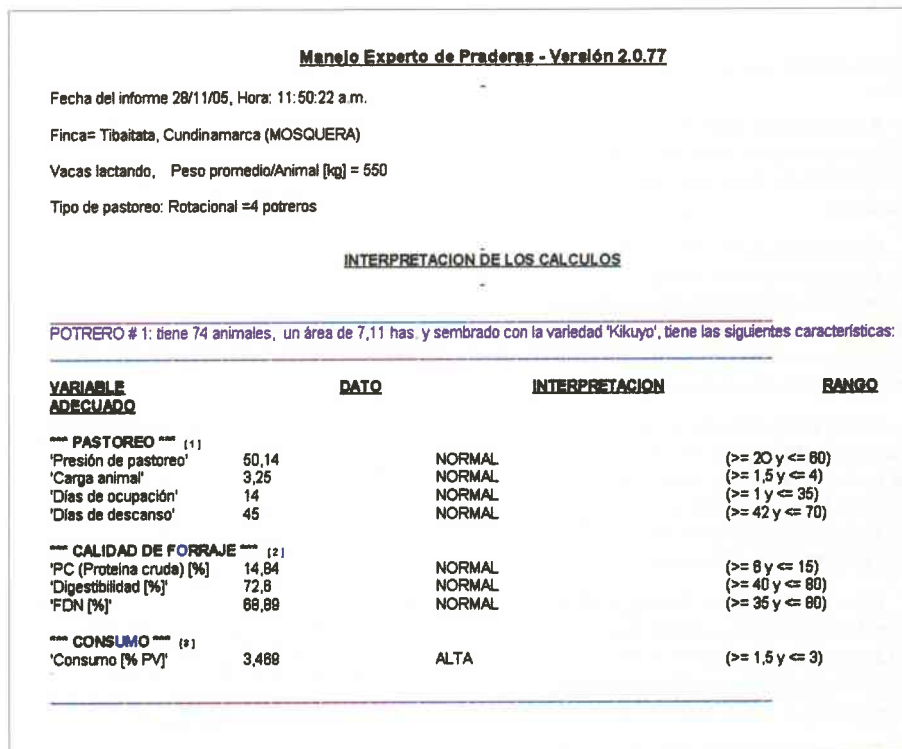


Figura 7. Pantalla de interpretación de los cálculos realizados por el programa MEP-2.

diseñadas para determinar el rendimiento, la composición botánica y la materia seca (MS) para cada pradera en cada rotación. Las muestras de forraje de cada pradera evaluada se enviaron al laboratorio de química para determinar los contenidos de materia seca (MS), proteína cruda (PC), Fibra en Detergente Neutro (FDN) y digestibilidad (*in situ*).

Análisis de datos

Se compararon los resultados de las predicciones frente a las observaciones para las variables días de descanso y de ocupación mediante comparación de medias (prueba de "t") y regresión lineal, tomando como variable independiente los valores observados y como variable dependiente los valores predichos. Los datos de consumo voluntario por animal, estimados según el modelo de Fisher (1996), se correlacionaron con las variables de calidad: proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro (FDN) y digestibilidad *in situ* (IVDM). Las predicciones y las observaciones, para los periodos de pastoreo y descanso, se estimaron por comparación mediante la prueba de "t" no pareada entre medias (observado vs predicho).

Los detalles del diseño experimental y los resultados comparativos de la prueba en campo, con su respectiva discusión, se expondrán en la segunda parte de este artículo que se publica en las páginas siguientes.

BIBLIOGRAFÍA

Arreaza et al. 2000. Base de Recursos Alimenticios para Animales. CORPOICA, Laboratorio de Nutrición Animal, CI Tibaibatá.

Criado-Briz, J. M. 2003. Introducción a los sistemas expertos. Colegio Universitario de Segovia - Universidad Complutense de Madrid. Consultado el 10/10/2003 en: http://ingenieroseninformatica.org/recursos/tutoriales/sist_exp/index.php

CIAT, 1992. Método de disponibilidad por frecuencia (MDF). En: Manejo y utilización de pasturas en suelos ácidos de Colombia. Unidad de Aprendizaje para la Capacitación en Tecnologías para la Producción de Pastos. No. 4, CIAT, Cali, Colombia. pp. 20-26.

Conrad, H.; Pratt y Hibbs, J. 1964. Regulation of feed intake in dairy cows I: Changes in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *J. Dairy Sci.* 47:54.

Fisher, D. W., 1996. Modeling ruminant feed intake with protein, chemostatic, and

distention feedbacks. *J. Anim. Sci.* 74: 3076-3081.

Forbes, J.M., 1996. Voluntary feed intake. In: Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. J.M. Forbes and J. France (eds.). Cab International, Wallingford, Oxon, UK. pp. 479-494.

Henning, J.; G. Lacefield; M. Rasnake; R. Burris; J. Johns; K. Johnson y L. Turner. 2001. Rotational grazing. University of Kentucky, College of Agriculture. Paper ID-143. pp: 1-16.

Holmann, F. 2002. El uso de modelos de simulación como herramienta para la toma de decisiones en la promoción de nuevas alternativas forrajeras: el caso de Costa Rica y Perú. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 10 (1): 35-45.

Holmes, C.; G. Wilson. 1989. Nutrición, clasificación y utilización de nutrientes. Producción de leche en praderas. 1a ed. Editorial Acribia, Madrid. pp. 127-151.

Hyer, J. C.; J. W. Oltjen y M. L. Galyean. 1991. Development of a model to predict forage intake by grazing cattle. *J. Anim. Sci.* 69: 827-835.

Jones, R. R.. 1983. Efecto del clima, el suelo y el manejo del pastoreo en la producción y persistencia del germoplasma forrajero tropical. En: Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas. Metodologías de Evaluación. Memorias de una reunión de trabajo. Cali, Colombia, Sep. 1982. O. Paladines, C. Lascano (eds.) CIAT. pp. 11-31.

Law, M. A., W. D. Kelton. 2000. Experimental design, sensitivity analysis and optimization. In: *Simulation Modeling and Analysis*. 3rd edition. McGraw Hill. San Francisco. pp. 622-666.

Leng, R. A. 1993. Quantitative ruminant nutrition: a green science. FAO electronic conference. *Australian Journal of Agricultural Research* 44: 363-80. Consultado el 18/02/2005 en: www.ciesin.org/docs/004-180/004-180.html

Microsoft Corporation. 1998. Visual Basic 6.0. Referencia de controles. McGraw Hill. Madrid. 1260 p.

_____ 1998. Visual Basic 6.0. Guía de herramientas y componentes. McGraw Hill. Madrid. 971p.

_____ 1998. Visual Basic 6.0. Manual del programador. McGraw Hill. Madrid. 921p.

_____ 1998. Visual Basic 6.0. Referencia del lenguaje. McGraw Hill. Madrid. 1167p.

Paladines, O. y C. Lascano, 1983. Recomendaciones para evaluar germoplasma bajo pastoreo en pequeñas praderas. En: Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas. Metodologías de

Evaluación. Memorias de una reunión de trabajo. Cali, Colombia, Sep. 1982. O. Paladines, C. Lascano (eds.). CIAT.

Tergas, L. E., 1983. Efecto del manejo del pastoreo en la utilización de la pradera tropical. En: Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas. Metodologías de Evaluación. Memorias de una reunión de trabajo. Cali, Colombia, Sep. 1982. O. Paladines, C. Lascano (eds.) CIAT. pp. 65-80.

Toledo, J. M.. 1983. Ensamblaje de germoplasma en pasturas: problemática de experimentación. En: Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas. Metodologías de Evaluación. Memorias de una reunión de trabajo. Cali, Colombia, Sep. 1982. O. Paladines, C. Lascano (eds.) CIAT. pp. 1-10.