ARTÍCULO TÉCNICO

MEP-2®: Programa de computador para manejo de praderas con bovinos en el trópico colombiano. II – Evaluación en campo del programa

Luis Carlos Arreaza[1], Alberto Franco[2], Jorge Mayorga[3], Henry Mateus[4], Oscar Pardo[5], Leonardo Sánchez[6], Justo Barros[7], Otoniel Pérez[8]

ABSTRACT

Title: **MEP-2: A computer simulation model for tropical pasture management. II – Model field evaluation**

A simulation model for predicting pasture use by cattle was evaluated with different grazing systems from four different Colombian areas and climates. Grass biomass availability, grazing days and pasture restoration predictions were compared on four cattle farms. One was located in Valle del Cesar, using dual-purpose cows and rotational grazing with guinea grass, and another in Pie de Monte del Meta with finishing steers and two paddocks in *Brachiaria decumbens*. One farm employing growing steers and rotational grazing with *Brachiaria humidicola* from the middle Magdalena valley and another with dairy cows kept on rotational grazing with kikuyo grass from the Sabana de Bogotá sub-region were also used. Predicted values *cf* observed values were compared by "t" test ($\alpha = 0.05$) during two grazing cycles and during the dry and rainy season. Predictions for days of grazing were close to that observed during the rainy season ($P>0.05$), but predictions for days of rest were far from that observed ($P<0.05$). Both predictions were different from that observed during the dry season for days of grazing and rest on all farms. Regression analysis for feed intake as a function of grass quality was well correlated. It was concluded that the software can be of great help in decision making on pasture management during the rainy season but care should be taken on results from the dry season, performing carefully measurements on DM yield from the paddock.

Key words: pasture utilization, prediction 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; e-mail: larreaza@corpoica.org.co.
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.

RESUMEN

Se evaluó un programa de computador diseñado para predecir la utilización de praderas con bovinos bajo diferentes sistemas de pastoreo en distintos escenarios y regiones de Colombia y se compararon las predicciones de disponibilidad de biomasa, tiempos de pastoreo y de recuperación contra los datos observados en cada una de las fincas. Se incluyeron una finca en el Valle del Cesar con vacas doble propósito secas bajo pastoreo rotacional en praderas de pasto Guinea, una finca en el Piedemonte del Meta con novillos de ceba bajo pastoreo alterno de *Brachiaria decumbens*, una finca en el Magdalena Medio santandereano con novillos de ceba en pastoreo rotacional de *Brachiaria humidícola* y una finca en la Sabana de Bogotá con vacas de ordeño bajo pastoreo de Kikuyo-Ryegrass en franjas de un día. En cada una de las fincas se evaluaron dos rotaciones completas en cada época climática (sequía, lluvias). El análisis de las predicciones contra las observaciones en las variables días de ocupación, descanso y disponibilidad de forraje, se realizó mediante una comparación de medias con prueba de "t" (α de 5%). El consumo animal de MS predicho por el programa se analizó en relación con variables de calidad del forraje: proteína cruda, digestibilidad y Fibra en Detergente Neutro, mediante regresión lineal simple, encontrándose una correlación media para las tres variables con el consumo. Se concluye que el programa de simulación ayuda a la toma de decisiones sobre manejo de praderas, con mayor precisión durante la época de lluvias, mientras que para la época seca, los resultados deben tomarse con precaución realizando una evaluación o aforo de las praderas cuidadosa.

Palabras clave: Uso de praderas, modelo predictivo, pastoreo bovino.

INTRODUCCIÓN

Los métodos convencionales de manejo de sistemas ganaderos tradicionalmente han sido desarrollados por la experiencia de los mismos ganaderos y sus trabajadores. Los avances generados desde el sistema de ciencia y tecnología no se han incorporado con facilidad a la agroindustria por múltiples razones de tipo cultural, de disponibilidad de recursos, y por las características agroecológicas no uniformes de las regiones productoras de carne y leche en Colombia. Por otro lado, la integración de conocimientos en diferentes disciplinas de la ciencia es escasa en la generación de productos y tecnologías que se adapten a los sistemas productivos en regiones y países en desarrollo, debido a que la mayoría de estos productos y tecnologías proceden de países con una agricultura y ganadería desarrollada bajo otras condiciones y esquemas culturales.

En Colombia, como en otras partes de América Latina, la leche y la carne son producidas en sistemas tanto especializados como de doble propósito. Los sistemas especializados de leche han incorporado desarrollos tecnológicos con mucho más facilidad y velocidad que los sistemas doble propósito y de carne. Sin embargo, se considera que estos sistemas son de baja eficiencia y poco rentables, a pesar de lo cual subsisten y compiten entre sí. Las principales limitaciones para aumentar la productividad en sistemas tropicales de carne y leche son la baja cantidad y la pobre calidad del forraje disponible, el potencial genético de los animales y el manejo (Holmann *et al.*, 2003; Holmann, 2002). Una de la opciones para reducir estas limitaciones, es hacer un uso más preciso y racional de los recursos forrajeros, mediante la toma de decisiones basadas en la simulación del comportamiento del sistema de pastoreo utilizando modelos que integran el conocimiento actual de características de las especies forrajeras,

la fisiología digestiva del animal y variables de calidad del forraje (Jones, 1983).

La disponibilidad de herramientas computacionales desarrolladas en la actualidad por la investigación agropecuaria hace posible la integración de conocimientos y análisis de alta precisión y una toma de decisiones con mayor objetividad, contribuyendo a un mejor conocimiento de los fenómenos biológicos y del comportamiento del sistema productivo en su conjunto (Criado-Briz, 2003). Así, los modelos de simulación son una herramienta que facilita la toma de decisiones para seleccionar la mejor alternativa que se puede lograr con una combinación de recursos y otros elementos como precios, y muestra cuanto se podría pagar por una unidad más de cada recurso que se agota (Holmann, 2002; Finlayson *et al*, 2002).

El pastoreo es la forma de producir carne y leche en Colombia y en gran parte del mundo tropical. Los ganaderos y agricultores denominan la práctica del pastoreo de muchas formas de acuerdo con la manera de administrar el cultivo de pasto: continuo, intensivo, extensivo, controlado, pastoreo rotacional y por franjas. El pastoreo rotacional es aquel que, contando con varias praderas, utiliza sólo una mientras las demás están en descanso o crecimiento. En el pastoreo continuo solamente se usa un potrero o pradera durante un tiempo indefinido. El pastoreo alterno es el que se compone de sólo dos praderas o potreros: uno en uso y el segundo en descanso (Henning *et al.*, 2000; Paladines y Lascano, 1983; Tergas, 1983).

El programa desarrollado (MEP-2) únicamente contempla tres modalidades de pastoreo (rotacional, continuo y alterno), sin tener en cuenta otras definiciones o combinaciones de intensidad de uso, las cuales se pueden asimilar a cualquiera de las tres; por ejemplo, el pastoreo en franjas es una modalidad intensiva del rotacional.

El propósito de desarrollar esta herramienta fue integrar una parte del conocimiento actual sobre manejo y calidad de los pastos tropicales, las condiciones agroclimáticas y las características de la fisiología digestiva de los bovinos, representadas por un modelo de consumo que simula el comportamiento de sistemas de pastoreo con diferentes categorías de animales y situaciones agroclimáticas y de entorno diversas, en un *software* o soporte lógico de uso simple y con pocos requerimientos de información de entrada.

Brito *et al.* (1998) desarrollaron un modelo complejo para evaluar la sostenibilidad de praderas en la altillanura oriental de Colombia. Dicho modelo comprende cuatro módulos (animal, planta, suelo, clima) con cuatro submodelos que evalúan desde la producción animal (ganancia de peso) hasta cambios en las características del suelo. El presente modelo únicamente comprende elementos de uno de los submodelos del programa de Brito *et al.* (1998) en el cual interactúan consumo animal, sistema de pastoreo, peso vivo y disponibilidad de biomasa en la pradera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó un programa de computador desarrollado en Visual Basic 6™, y que corre bajo plataforma MS-Windows™, el cual calcula el consumo de forraje por parte de los animales de acuerdo con su calidad nutricional (Fisher, 1996): contenidos de proteína cruda (PC), Fibra en Detergente Neutro (FDN) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS); se encuentra asociado con ecuaciones simples de pastoreo que combinan la disponibilidad de forraje aprovechable (descontadas las pérdidas y la fracción de reservas de la pradera), para estimar el tiempo de pastoreo en días al igual que el tiempo de descanso de acuerdo con el tamaño (ha) y número de potreros en el sistema. La estructura informática del programa MEP2 se describe en la primera parte de este artículo.

La comparación entre las predicciones y las observaciones se llevó a cabo con datos obtenidos a través del monitoreo de sistemas de pastoreo localizados en varias regiones de Colombia: 1) Región Caribe Seco, en la Estación Experimental Motilonia (municipio de Codazzi) con vacas doble propósito pastoreando praderas de Guinea (*Panicum maximun*) bajo sistema rotacional y en las épocas seca y lluviosa; 2) Piedemonte del Meta, en el Centro de Investigaciones La Libertad, con novillos Cebú de engorde bajo pastoreo alterno de *Brachiaria decumbens* durante la época seca; 3) Magdalena Medio santandereano (municipio de Barrancabermeja), en la Hacienda La Castellana, con novillos de engorde (etapa inicial) en praderas de *Brachiaria humidícola* bajo un sistema rotacional de 8 potreros de 1 ha cada uno. Cada sistema de pastoreo en cada finca se evaluó potrero por potrero utilizando el método de disponibilidad por frecuencia -MDF- (CIAT, 1992). Los datos se introdujeron al programa utilizando hojas de cálculo diseñadas para determinar el rendimiento, la composición botánica y la materia seca para cada potrero en cada rotación. A las muestras de forraje de cada potrero evaluado se les determinó en el laboratorio de química el contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), Fibra en Detergente Neutro (FDN) y digestibilidad (*in situ*).

La verificación del funcionamiento del programa se realizó mediante la introducción de los datos observados en el hato del Centro de Investigaciones Tibaitatá, donde se monitoreó el pastoreo de un grupo de 75 vacas Holstein en ordeño. Las praderas utilizadas por el hato se aforaron mediante el método de disponibilidad por frecuencias -MDF-, de acuerdo con la disponibilidad de forraje obtenida y el número de vacas en ese momento; se dividió el lote a pastorear en franjas con un área apropiada para un día de pastoreo. Una vez terminado el pastoreo de todo el lote (entre 15 y 25 días), el tiempo de ocupación del potrero se tomó como la suma de las franjas pastoreadas, mientras la producción de biomasa forrajera y la disponibilidad se asumió como la sumatoria de la biomasa disponible en cada franja. Una muestra del forraje de cada lote o potrero se llevó al laboratorio para la determinación de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra en detergente neutro (FDN) y digestibilidad *in situ* (bolsa de nylon). Las tres variables de calidad alimentaron el modelo para estimación de consumo mientras la variable de MS se utilizó para estimar la disponibilidad de forraje como materia seca. Los pastoreos se monitorearon y analizaron durante los períodos de sequía (enero-marzo, 2004) y lluvias (abril-junio, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las predicciones de las variables días de descanso y días de ocupación se analizaron mediante regresión lineal, tomando como variable independiente lo observado y como variable dependiente la predicción. La verificación del funcionamiento del programa se realizó mediante la introducción de datos observados en la finca donde se monitoreó el pastoreo (Centro de Inves-

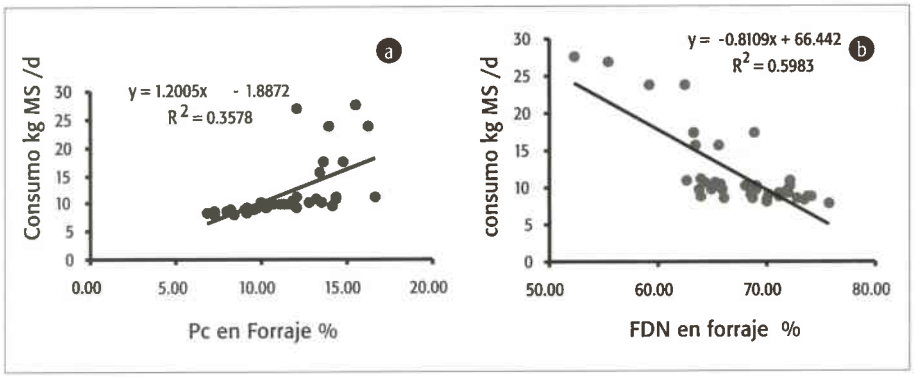

Figura 1. Relación entre proteína cruda (a) y FDN en el forraje (b) y la predicción del consumo voluntario en todas las fincas estudiadas.

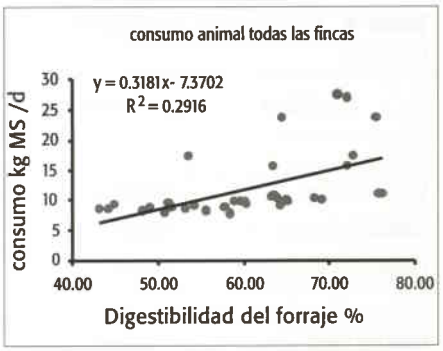

Figura 2. Relación entre la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (MS) y el consumo predicho de los animales en todas las fincas evaluadas.

Tabla 1. Composición nutricional media de las gramíneas pastoreadas en las cuatro localidades.

Localidad	Gramíneas	n	Materia Seca %	Ds	Proteína cruda %	Ds	FDN %	Ds	Digestibilidad %	Ds
Barrancabermeja	*B. humidícola* (seca)	12	34.36	7.89	9.55	1.91	70.85	2.88	53.46	6.18
	Paspalum (seca)	4	40.81	4.28	8.4	1.17	70.96	4.01	40.81	5.98
Codazzi	*Panicum* (seca)	7	27.29	3.10	12.04	1.27	65.58	1.71	61.93	2.41
	Panicum (lluvias)	7	24.71	3.30	13.05	2.09	67.58	3.78	68.75	5.30
Mosquera	Kikuyo	4	34.03	19.25	16.87	5.80	65.28	2.64	65.36	8.97
	Rye grass (seca y lluvias)	4	27.19	9.28	14.43	1.84	57.35	4.41	70.64	4.52
Villavicencio	*B. decumbens*	2	35.11		9.7		57.8		76.1	
	(seca)	2	46.65		10		58.2		73.8	

Ds= Desviación estándar.

tigaciones Tibaitatá) sobre el ganado de ordeño (vacas Holstein en producción) en cuatro praderas de Kikuyo y Ryegrass manejadas en franjas diarias. Se pastorearon cuatro lotes de diferente área tanto en sequía como en período de lluvias.

La calidad nutricional de los pastos utilizados se encontró dentro de los promedios aceptables para PC y FDN (Figura 1). Los resultados de digestibilidad fueron bajos en *B. humidicola* del Magdalena Medio (52,7%), comparados con la digestibilidad de los otros forrajes en las demás localidades: *Pennisetum clandestinum* en Mosquera (68%) y *Panicum maximun* en Codazzi (65%) (Tabla 1). Sin embargo, la correlación entre digestibilidad y consumo predicho por el programa fue de tipo medio (0.53) (Figura 2).

Los días de ocupación reales para la finca de Mosquera se determinaron por la sumatoria de las franjas pastoreadas (1 día de duración). El período de pastoreo se extendió por más de 10 días debido al tamaño de los lotes que estuvo entre 7 y 9 ha. Los datos de tiempos de pastoreo predichos en este sistema se ajustaron adecuadamente a los datos de las observaciones (P>0.2), pero para los días de descanso o recuperación las predicciones fueron más alejadas de lo observado (P>0.05). La desviación del período de descanso predicho frente al período observado fue mayor para el período de descanso que para el de ocupación o pastoreo (Tabla 2); en todas las fincas la desviación fue aún mayor para la época de sequía que para la lluviosa.

Tabla 2. Análisis de la predicción de los días de descanso y ocupación con el programa MEP2 en cada época climática para todas las fincas y sistemas de pastoreo.

Variable 1	Variable 2	Época	n	Promedio	Es
Días descanso	Diferencia	Lluvias	18	-8.83	4.34
Días descanso	Diferencia	Sequía	21	-17.9	5.39
	Diferencia	Lluvia-sequía	-	9.07	7.08
Días ocupación	Diferencia	Lluvia	18	-1.55	1.01
Días ocupación	Diferencia	Sequía	21	-6.24	1.85
	Diferencia	Lluvia-sequía	-	9.18	2.22

Tabla 3. Diferencia de medias pareadas (observadas y predichas) para los períodos de ocupación y descanso de los potreros para todas las fincas en dos épocas climáticas.

Variable	Método	Varianzas	GL	Valor t	P > |t|
Descanso diferencia1	Pooled	Igual	37.0	1.28	0.21
Descanso diferencia 2	Satterthwaite	desigual	36.4	1.31	0.19
Ocupación diferencia 1	Pooled	Igual	37	2.11	0.04
Ocupación diferencia 2	Satterthwaite	desigual	30.5	2.21	0.03
Igualdad de varianzas					
Variable	**Método**	**Grados de libertad**	**Den DF**	**Valor F**	**P > F**
Diferencia días descanso	Fólder F	20	17	1.8	0.23
Diferencia días ocupación	Fólder F	20	17	3.9	0.006

Tabla 4. Análisis de las predicciones para los días de ocupación en tres sistemas de pastoreo de bovinos de tres localidades de tres regiones de Colombia.

Localidad	Sistema	Número potreros	Días observados	Días predichos	Cuadrado medio error de predicción	Significancia de las diferencias
			Época seca			
Valle del Cesar	Rotación	7	5	16	17.6	0.001
Sabana de Bogotá	Rotación	4	22	17	5.6	0.30
Piedemonte del Meta	Alterno	4	26	25	3.7	0.75
			Época de lluvia			
Valle del Cesar	Rotación	7	6	8	11.5	0.19
Sabana de Bogotá	Rotación	4	14	15	9.2	0.39

Tabla 5. Análisis de las predicciones para días de Descanso para potreros en tres sistemas de pastoreo de tres localidades.

Localidad	Sistema	Número potreros	Días observados	Días predichos	Cuadrado medio error de predicción	Significancia de las diferencias
			Época seca			
Valle del Cesar	rotación	7	30	61	526.9	0.001
Sabana de Bogotá	rotación	4	30	61	132.4	0.05
Pie de Monte del Meta	alterno	4	28	27.7	1.8	0.87
			Época de lluvia			
Valle del Cesar	Rotación	7	37.7	48.4	196.2	0.07
Sabana de Bogotá	rotación	4	42	44.3	40.4	0.68

Tabla 6. Pastoreo de vacas Holstein en ordeño y comparación de las predicciones para los períodos de utilización y recuperación en la finca de Mosquera (C. I. Tibaitatá).

Época	Pradera	Días ocupación observados	Días ocupación predichos	Desviación	Error	Días descanso observados	Días descanso predichos	Desviación	Error
Seca	lote 38	24	16	5.66	4.0	72	51	14.85	10.5
Seca	Lote 9	20	15	3.54	2.5	60	52	5.66	4.0
Seca	Lote 47	21	9	8.49	6.0	63	58	3.54	2.5
Seca	Lote11	21	27	4.24	3.0	63	40	16.26	11.5
Lluviosa	Lote 9	17	17	0.00	0.0	51	42	6.36	4.5
Lluviosa	Lote 38	11	11	0.00	0.0	33	48	10.61	7.5
Lluviosa	Lote 47	13	16	2.12	1.0	39	43	2.83	2.0
Lluviosa	Lote 11	15	15	0.00	0.0	45	44	0.71	0.5

El ajuste de las predicciones en la finca de Mosquera fue estrecho debido al sistema de pastoreo por franjas, pero en las demás localidades, a pesar de tener praderas de menor extensión (1 a 2 ha), las predicciones fueron muy diferentes a las observadas. La variabilidad en la estimación de la disponibilidad de forraje en cada sistema implicó calcular el tiempo de utilización variable, más sujeto a la decisión del administrador de las praderas, que a una evaluación de la disponibilidad de forraje para pastoreo.

Tabla 7. Disponibilidad de forraje estimada por muestreo y su predicción en época seca con novillos de engorde en la finca del Magdalena Medio (Hacienda La Castellana).

Potrero	n	Disponibilidad /animal observada kg · d^{-1}	Disponibilidad /animal predicha kg · d^{-1}	Desviación estándar	Error estándar
1	2	29.45	8.70	14.68	10.38
2	2	15.60	8.98	4.68	3.31
3	2	6.91	8.70	1.26	0.89
4	2	9.53	8.68	0.60	0.42
5	2	8.90	8.14	0.54	0.38
6	2	5.47	8.26	1.97	1.39
7	2	24.29	8.92	10.87	7.68
8	2	13.35	8.86	3.17	2.24

Las diferencias entre el período de ocupación predicho y el observado, para cada uno de los sistemas de pastoreo considerados, variaron según la localidad. En la finca del Valle del Cesar con pastoreo rotacional las desviaciones fueron más altas en la época seca que en la lluviosa. En las fincas de la Sabana de Bogotá con pastoreo en franjas y en el Piedemonte Llanero con pastoreo alterno, los desvíos fueron menores (Tablas 3 y 4), siendo mejor la predicción para la época lluviosa.

Al igual que en la predicción del período de ocupación, la del período

Tabla 8. Pastoreo con vacas doble propósito en dos épocas y predicciones para días de utilización y recuperación en la finca del Valle del Cesar (E.E. Motilonia, Codazzi).

Época	Pradera	Días ocupación observados	Días ocupación predichos	Desviación estándar	Error estándar	Días descanso observados	Días descanso predichos	Desviación estándar	Error estándar
Seca 1	Potrero 1	4	13	6.36	4.5	24	75	36.06	25.5
Seca 1	Potrero 2	2	6	2.83	2.0	12	82	49.50	35.0
Seca 1	Potrero 3	4	13	6.36	4.5	24	75	36.06	25.5
Seca 1	Potrero 4	6	16	7.07	5.0	36	72	25.46	18.0
Seca 1	Potrero 5	5	19	9.90	7.0	30	69	27.58	19.5
Seca 1	Potrero 6	2	15	9.19	6.5	12	73	43.13	30.5
Seca 1	Potrero 7	3	6	2.12	1.5	18	82	45.26	32.0
Lluviosa 1	Potrero 1	5	4	0.71	0.50	30	50	14.14	10.0
Lluviosa 1	Potrero 2	4	3	0.71	0.50	24	51	19.09	13.5
Lluviosa 1	Potrero 3	3	4	0.71	0.50	18	50	22.63	16.0
Lluviosa 1	Potrero 4	3	4	0.71	0.50	18	50	22.63	16.0
Lluviosa 1	Potrero 5	5	10	3.54	2.50	30	44	9.90	7.0
Lluviosa 1	Potrero 6	10	25	10.61	7.50	60	29	21.92	15.5
Lluviosa 1	Potrero 7	4	4	0.00	0.00	24	50	18.38	13.0

de descanso también se alejó de los valores observados en la época seca en todas las locaciones; estas desviaciones fueron notorias en la finca del Valle del Cesar, donde la gramínea pastoreada es de crecimiento erecto y la estimación de la disponibilidad de forraje parece ser menos precisa por los métodos utilizados que en praderas de gramíneas de tipo postrado, debido a que la cobertura de las plantas es más espaciada. Este hecho hace suponer que hay un comportamiento diferente de los animales en cuanto al consumo que el programa no puede simular o que la disponibilidad de biomasa forrajera comestible por animal fue sobreestimada, ya que las predicciones fueron el doble para los días de descanso tanto en el Valle del Cesar como en la Sabana de Bogotá (Tabla 5).

En la finca de la Sabana de Bogotá donde se manejó el pastoreo de 75 vacas en ordeño mediante franjas de un día de duración, la predicción, tanto para días de ocupación como de descanso en la época seca, tuvo una desviación significativa con respecto a la época de lluvias, pues como se anotó, el comportamiento de consumo animal puede ser diferente y el cálculo del forraje disponible pudo ser sobreestimado en la época de sequía (Tabla 6).

En el caso de la finca del Magdalena Medio, el manejo se realizó bajo un esquema constante en el tiempo de utilización y descanso, e independientemente del tamaño de los potreros y la disponibilidad de forraje; por tanto, no fue posible comparar predicciones y observaciones. Sólo se compararon las predicciones para disponibilidad de forraje en cada potrero durante las dos épocas (Tabla 7). Las desviaciones son grandes y la explicación puede deberse a que en la composición botánica de las praderas se encontró un porcentaje alto de especies poco consumidas por el ganado (*Paspalum spp.* y otras).

El análisis de las diferencias entre lo observado y lo predicho, tanto para los días de ocupación como para los de descanso, mostró variación significativa en la finca de Codazzi; allí se tenía pastoreo rotacional y vacas consumiendo *P. maximun* (gramínea de tipo erecto) durante la época seca ($P<0.001$). En la estación lluviosa la predicción fue más ajustada a los datos observados, siendo no significativas las diferencias halladas, tanto para el período de ocupación ($P>0.192$) como para el período de recuperación ($P>0.067$). En este caso, el mayor desvío de la predicción en época seca puede atribuirse a una sobreestimación del forraje comestible disponible (Tabla 8).

En la finca de Piedemonte del Meta, con pastoreo alterno en *B. decumbens* y novillos de engorde, la predicción estuvo cercana a lo observado, tanto en los días de ocupación ($P>0.75$) como en los días de descanso ($P>0.87$) (Tabla 9).

Tabla 9. Predicciones y observaciones de pastoreo con novillos de engorde durante la época seca en el Centro de Investigaciones La Libertad (Piedemonte del Meta).

Época	Pradera	Días ocupación predichos	Días ocupación observados	Ds.	Error estándar
Seca	Potrero 1a	26	23	2.12	1.5
Seca	Potrero 2a	21	23	1.41	1.0
Seca	Potrero 3a	20	23	2.12	1.5
		Días descanso predichos	**Días descanso observados**		
Seca	Potrero 1a	30	28	1.41	1.0
Seca	Potrero 2a	29	28	0.71	0.5
Seca	Potrero 3a	24	28	2.83	2.0

Análisis de regresión

La predicción del consumo diario por animal, según variables de calidad del forraje e independiente del tipo de forraje y de la localidad, presentaron una correlación media, aunque la desviación se incrementa con los contenidos de

proteína altos como en el caso de las fincas de la Sabana de Bogotá con Kikuyo (PC>15%). Fisher (1996), encontró un ajuste pobre del consumo predicho de MS, cuando la proteína cruda (PC) en el forraje era menor de 6.4% y mayor de 15%.

Discusión

Los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (SATD) se implementan en forma de programas computacionales. La tendencia moderna es presentar al usuario una interfase tan simple y amigable como sea posible, lo cual oculta la complejidad y número de cálculos que el modelo de simulación debe realizar. Sin embargo, la dificultad mayor proviene de conciliar en forma completa los requerimientos que normalmente deben satisfacer estos SATD, que usualmente son numerosos y complejos, con la necesidad de presentar una interfase simple y amistosa. Este programa, que de cierta manera simula el uso de la pradera por parte de un grupo de animales, no contiene por ahora todos los elementos necesarios para un programa de simulación de mayor alcance. Uno de los elementos importantes en un modelo predictivo es la simulación del crecimiento del forraje, lo cual implicaría una mayor complejidad y requerimientos de los datos de entrada, los cuales no son comunes y de fácil obtención en el manejo cotidiano de una finca o sistema de pastoreo. Otro componente importante que no se desarrolló en esta fase del programa es el comportamiento de los animales por cuanto éste regula el consumo. Hay referencias sobre estudios etológicos dentro de la pradera que utilizan dispositivos GPS (Texas A & M), mientras otros usan sensores de pastoreo para determinar el número de bocados por hora y el tamaño del bolo, que aproximan más la simulación a la realidad, lo cual complica el modelo que deben utilizar los productores y lo hacen menos práctico.

Adicionalmente, poco se ha avanzado en estos temas bajo las condiciones de trópico cálido y húmedo con praderas de composición botánica diversa. Los métodos para evaluación de praderas como "Botanal" o el de frecuencias (MDF) propuesto por CIAT, bastante completos en cuanto la evaluación de rendimiento y composición botánica, son principalmente para trabajo experimental, requieren gran cantidad de trabajo de campo y muchas calificaciones visuales que, sin un evaluador experimentado, pueden ser extremadamente subjetivas. Adicionalmente, si el evaluador no está familiarizado con la forma en que los animales cosechan el forraje en la pradera, las mediciones tienden a sobreestimar la disponibilidad de biomasa; finalmente, el análisis de composición nutricional no refleja lo que ingiere el animal, y por ello en muchos casos la calidad del pasto en los análisis de laboratorio no es la consumida.

CONCLUSIONES

En las regiones tropicales de América Latina el énfasis tecnológico en nutrición bovina bajo pastoreo se ha centrado en la introducción de especies de gramíneas y leguminosas de otras latitudes (África, Asia) y en sus aspectos agronómicos; no obstante, poco se ha trabajado en la administración o manejo de estas praderas mejoradas con los animales desde el punto de vista de la forma de utilizarlas: los períodos de recuperación y pastoreo, el tamaño de las praderas, y el número y tipo de animales en relación a la producción de biomasa bajo las condiciones del productor. Al mismo tiempo, los productores o ganaderos buscan especies que les generen mayor producción de leche y/o carne, sin tener en cuenta la administración de la biomasa generada en las praderas e influida por la dinámica de los cambios climáticos y la fertilidad del suelo.

Aunque la herramienta MEP-2 no tiene la capacidad de simular algunas variables, como el crecimiento del pasto y la selectividad animal, su uso da una aproximación confiable para establecer una rotación más eficiente de las praderas, contribuyendo a su sostenibilidad y evitando el sobrepastoreo y el subpastoreo, lo que se refleja en una mayor producción animal y la reducción de costos, al permitir una vida útil de la pradera más larga (renovaciones menos frecuentes). Adicionalmente, la adopción de pastos mejorados con un sistema apropiado de rotación de potreros es una inversión segura para incrementar la productividad, la rentabilidad y la competitividad. Finalmente, se espera que el programa MEP-2 contribuya al necesario cambio tecnológico en los sistemas de producción ganaderos del trópico y a generar sinergismos, con base en lo cual otras prácticas de manejo (por ejemplo la suplementación) pueden llegar a tener en su conjunto un papel primordial en el incremento de la productividad y la competitividad, de acuerdo con el estudio de Holmann *et al.* (2003).

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. Jaime Clavijo, propietario de la Hacienda La Castellana del Municipio de Barrancabermeja, por su colaboración en la evaluación y seguimiento de la metodología para la evaluación de praderas. Así mismo, a la Dra. Beatriz Abadía por su invaluable ayuda en los análisis de calidad de los forrajes. Al auxiliar de campo Juan Carlos León y a Doris Montañés y Alipio Loaiza auxiliares del Laboratorio de Nutrición Animal de Corpoica por su compromiso con esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

E. Brito, C. Aguilar, R. Cañas y R. Vera. 1998. Modelo de simulación para evaluar la sostenibilidad de las pasturas de la altillanura colombiana. I. desarrollo y validación del modelo. Arch Latinoam. Prod. Anim. 6(1):1-38.

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

Henning, J., G. Lacefield, M. Rasnake, R. Burris, J. Jhons, K. Johnson, L. Turner. 2000. Rotational grazing. Cooperative Extension Service paper No ID-143, University of Kentucky, College of Agriculture. Consultado el 10/10/2003 en http://www.ca.uky.edu

Holmann F., Rivas L., Carulla J., Rivera B., Giraldo L.A., Guzmán S., Martínez M., Medina A. and Farrow A. 2003. Evolution of milk production systems in tropical Latin America and its interrelationship with markets: an analysis of the Colombian case. Livestock Research

for Rural Development (15):9. Retrieved June 9 2005 from http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd15/9/holm159.htm

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.

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.

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

Paladines, O. y C. Lascano, 1983. Recomendaciones para evaluar germoplasma bajo pastoreo en pequeños 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.

Finlayson, J.D.; Betteridge, K.; Mackay, A.; Thorrold, B.; Singleton, P.; Costa, D.A. 2002. A simulation model of the effects of cattle treading on pasture production on North Island, New Zealand, Hill Land. New Zealand Journal of Agricultural Research 45: 255–272.