

COMPARACION ECONOMICA DE ESTRATEGIAS DE MANEJO NUTRICIONAL PARA SISTEMAS DE GANADO DE DOBLE PROPOSITO EN VENEZUELA

*C. F. Nicholson*¹
R. W. Blake^{2*}
*C. L. Urbina*³
*D. R. Lee*¹
*D. G. Fox*²
*P. J. Van Soest*²

INTRODUCCION

Las características climáticas, nutricionales y económicas de las ecozonas tropicales de Latinoamérica restringen la eficiencia del ganado especializado en la producción intensiva de carne y leche. En consecuencia, los sistemas de producción de doble propósito que usan ganado cruzado de Cebú, de razas criollas (ganado local descendiente del originalmente traído por los colonizadores españoles) y de animales de ascendencia europea, han llegado a ser y permanecen como el principal componente de los sectores ganaderos en los países de América Latina. A pesar de la viabilidad económica sostenida de los hatos de doble propósito y de su frecuente contribución dominante a la producción regional de leche y carne, pocos estudios han comparado las estrategias de manejo nutricional alternativo para estos sistemas. Por ejemplo, no se dispone de recomendaciones de manejo nutricional específicas para animales cruzados de doble propósito. Como resultado, el comportamiento animal está con frecuencia por debajo de su potencial genético, como lo indican las producciones de leche de menos de 5 kg por día (Seré y Vaccaro, 1985).

Las evaluaciones del manejo nutricional para sistemas de doble propósito tienen el potencial de incrementar el ingreso económico de los productores del sector ganadero en Latinoamérica, lo cual podría resultar en un aumento del aporte regional de leche y carne. La mejora en el ingreso económico podría traer también mayor productividad de los animales de la tierra y de la mano de obra, y fortalecer un uso más efectivo de los recursos alimenticios.

El principal objetivo de éste estudio fue comparar tres estrategias de manejo nutricional (y dos variantes de una estrategia) en un rancho de doble propósito representativo en Venezuela, usando un Modelo de Programación Lineal Multiperiódico. Esta comparación involucró: 1)

¹ Departamento de Economía Agrícola, Universidad de Cornell, Ithaca, Nueva York.

² Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Cornell, Ithaca, Nueva York.

³ Apartado 4101, San José, Costa Rica. C. A.

Evaluación de las dietas Óptimas para las vacas lactantes del hato, 2) Identificación de las limitantes nutricionales que más afectan la productividad y la rentabilidad del hato, 3) Evaluación de los nutrientes proporcionados por la **tasa** de recambio de tejido corporal en vacas lactantes, y 4) Estimación del retorno económico neto para productores de doble propósito, de acuerdo con las alternativas consideradas.

MATERIAL Y METODOS.

El Sistema de Producción de Doble Propósito.

Holmann et al. (1989-1990) muestrearon 157 ranchos lecheros y de doble propósito en el occidente de Venezuela y colectaron información sobre las prácticas de manejo del hato, el comportamiento animal, las ventas de leche y carne y los costos de producción. Para desarrollar el Modelo de programación, se seleccionó un subgrupo de 22 ranchos de doble propósito en la ecozona de las tierras bajas y húmedas cercanas al Lago Maracaibo por su similitud con los ranchos de muchas otras áreas de Latinoamérica (Seré y Vaccaro, 1985). En estos últimos se ordeñaban a mano vacas cruzadas con menos de 50 % de genes Holstein y los becerros machos se criaban hasta alcanzar **pesos** para el abasto.

La superficie total promedio de los 22 ranchos era de 367 has. con 96 % de la tierra con especies de pasturas mejoradas. El hato promedio comprendía 261 vacas HxC con un porcentaje de parición de 71 %, edad al primer parto de 36 meses y una producción diaria de leche promedio de 10 kg. El amamantamiento restringido era común, el becerro apoyaba a la madre durante el ordeño y después mamaba la leche residual. El rancho promedio conservaba un número casi igual de vacas lactantes, becerros menores de un año y vaquillas de 1 a 3 años. además de 50 novillos de **más** de un año de edad.

La región del Lago Maracaibo típicamente tiene una estación lluviosa de nueve meses (de abril a diciembre)? y una estación seca de tres meses (de enero a marzo). pero la humedad es suficiente para que las pasturas crezcan incluso durante la estación seca. El forraje para pastoreo fue el recurso alimenticio predominante para todos los grupos de animales. La carga animal promedio fue de 1.5 unidades animal⁴/ha, y 13 de los 22 ranchos fertilizaron los potreros. En promedio, las dietas para las vacas en lactación consideraron el forraje tropical en pastoreo y concentrado comercial. Sin embargo, cinco ranchos no usaban suplementación energética o proteica.

⁴ Los cálculos de unidades animal usado.; fueron : 1.0 unidades para vacas y novillos de tres a cuatro años, 0.3 unidades **para** becerros, 0.6 unidades para vaquillas y novillos de 1 a 2 años y 0.9 unidades para vaquillas y novillos de 2 a 3 años.

Modelo de Programación Lineal Multiperiódico

Los estudios previos de sistemas de producción de doble propósito usaron modelos de Programación Lineal (PL) para evaluar la rentabilidad de establecer pastos mejorados y asociaciones de pastos y leguminosas, así como determinar las dietas óptimas para vacas lactantes (Franco, 1987; Townsend *et al.*, 1990). Sin embargo, se desconoce si existe algún estudio que evalúe la distribución óptima de los recursos forrajeros de un rancho entre los varios grupos de animales que componen los hatos de doble propósito, o el impacto de la reasignación de forrajes sobre las utilidades del rancho. Franco (1987) usó un modelo especificando las proporciones fijas de las diferentes clases de animales, y Townsend *et al.*, (1990) no evaluaron las dietas para animales jóvenes o para machos.

La hipótesis de trabajo fue que dos diferentes tipos de interacciones deben estar explícitamente especificadas para que el modelo en el sistema de doble propósito sea preciso. La primera hipótesis fue que existían interacciones entre el manejo nutricional, el tamaño y la composición del hato y el uso de los recursos de la tierra (pasturas). Por lo tanto, es probable que el alterar el manejo nutricional resulte en cambios en el tamaño óptimo del hato y en la composición, así como en cambios en la intensidad del uso de la tierra (la carga animal). Debido a que estas interacciones son menos importantes en los sistemas de producción lechera intensiva de clima templado, los modelos con frecuencia asumen que el tamaño del hato y la composición están fijas e ignoran el efecto del manejo nutricional en la intensidad del uso de la tierra (Nicholson, 1990). El modelo explícitamente muestra estas interacciones porque el tamaño del hato y la composición se derivan dentro del marco del modelo.

Un segundo juego importante de interacciones existe entre la estrategia de manejo nutricional óptima, la producción de leche y la dinámica de los tejidos corporales óptima para vacas lactantes. Los sistemas de doble propósito se basan en los forrajes para cubrir la mayoría de los requerimientos nutritivos de los animales, y el manejo nutricional es sinónimo de determinar la proporción óptima de forrajes y suplementos con que se debe alimentar cada grupo de animales. Las intervenciones nutricionales que modifican las proporciones de forrajes y suplementos también modifican probablemente la producción láctea y la dinámica de la tasa de recambio de tejido corporal. La tasa de recambio en la ingesta y en los tejidos corporales se determina simultáneamente, y por tanto debe incluirse en el modelo para el sistema de doble propósito al mismo tiempo.

Aunque la variación en la producción de leche tiene implicaciones económicas potencialmente importantes, estas interacciones se simplificaron al considerar sólo una producción láctea de 2500 Kg. Esta simplificación fue considerada: 1) Porque los parámetros reproductivos de las 22 ranchos de doble propósito estaban sólo disponibles para un rango restringido de producciones lácteas, 2) Para ser consistente con las prácticas de producción actuales, 3) Para hacer accesible la formulación del modelo de programación lineal. Para la producción de leche especificada, la estructura del modelo permite la evaluación de diferentes estrategias de manejo nutricional y sus interacciones con la movilización y repleción de tejido corporal en vacas.

Se desarrolló un modelo PL multiperiódico de un rancho de doble propósito representativo en el occidente de Venezuela, para evaluar de manera explícita las interacciones antes discutidas. El modelo PL determinístico representó un ciclo de tres años de reemplazo de vacas en seis períodos (una estación lluviosa de nueve meses y una estación seca de tres meses en cada año) para considerar las variaciones estacionales en calidad y disponibilidad del forraje. Los requerimientos de Energía Metabolizable (EM) y Proteína Metabolizable (PM) para becerros, vaquillas, novillos y vacas lactantes y secas fueron cubiertos simultáneamente sujetándose a las restricciones de ingestión de Fibra Detergente Neutro (FDN) y de Materia Seca (CMS). El marco del modelo PL consideró explícitamente la movilización y replección de grasa y proteína de los tejidos corporales.

La especificación general del modelo PL fue la siguiente:

$$\max Z = C'X$$

$$\text{sujeto a: } AX < B$$

$$X > 0$$

donde:

$$Z = C'X = \text{margen neto}$$

$C = n \times 1$ vector de costos y de precios por actividades en la función objetivo,

$X = n \times 1$ vector de actividades (por ejemplo ventas de animales o leche, compra de alimentos, distribución del área [forraje] a los grupos de animales)

$A = m \times n$ matriz de coeficientes técnicos (por ejemplo, contenido de EM y de PM en el forraje y en el alimento comprado, producción de leche/vaca), y

$B = m \times 1$ vector de recursos u otras restricciones (requerimientos de EM y de PM, límites en la ingestión de FDN y de MS, requerimientos de fertilización para las pasturas, límites en la movilización de tejido corporal).

Black and Hlubik (1980) y Glen (1987) resumen otros supuestos y aplicaciones del método PL al manejo nutricional. Reyes et al. (1951) aplicaron métodos de PL multiperiódicos al manejo nutricional de vacas lecheras. Nicholson (1990) discute en detalle las actividades y restricciones del modelo de PL (Cuadro 1).

Función Objetivo del Modelo.

El modelo de programación lineal maximiza el margen neto descontado del hato (el total de los ingresos por venta de leche y de animales menos los costos variables por alimentación, trabajo, salud animal, y reproducción). Otros activos del rancho distintos al ganado (coma terreno, construcciones y equipo) se trataron como predeterminados para el horizonte de 3 años del modelo.

CUADRO 1, ACTIVIDADES Y RESTRICCIONES EN EL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL MULTIPERIODICO DE PRODUCCION CON GANADO DE DOBLE PROPOSITO.

ACTIVIDAD	RESTRICCIONES
Grupos Animales	Nutricional
Vacas lactantes: Balance de EM negativo	Requerimientos de EM
Balance de EM positivo	Requerimientos de PM ^a
Vacas secas, Balance de EM positivo	Capacidad de ingestión de FDN
Becerras , de 0 a 1 años	Capacidad de CMS
Vaquillas, de 1 a 2 años	Mínimo de FDN en dieta
Vaquillas. de 2 a 3 años	Contenido nitrogenado de mezclas
Novillos, de 1 a 2 años	alimenticias alternativas
Novillos, de 2 a 3 años	Movilización de tejidos y
Novillos, de 3 a 4 años	transferencia de replección
Alimentos y Nutrición	Recursos del Rancho
<u>Producción de Forraje</u>	Superficie total
<u>Fertilización</u> de pastos	Terrenos en pastos
Suelos Drenados	tolerantes al agua
Suelos húmedos	Capacidad de
Pastos sin fertilizar,	suplementación total
Suelos Drenados	
Suelos húmedos	
<u>Compra de Alimento</u>	Estructura del Hato
Concentrado comercial	Constante del número de
Melazas	vacas ^b
Urea	Relación No. de becerros
Raíz de Yuca	a No. de vacas
	Transferencia de
	becerros, vaquillas y
	novillos
	Vacas ordeñadas
	Vaquillas de reemplazo
	Animales vendidos
Movilización de Tejidos y Replección	
Tejido adiposo	
Tejido proteico	
Otras entradas	
Mano de obra asalariada	Balance de Recursos
Fertilizante	Mano de obra asalariada
Herbicida	Fertilizante
	Herbicida
Salidas	
Ventas de leche	
Ventas de animales (por grupo animal)	

^a Proteína Metabolizable

^b Se asumió un número de vacas constante para todos los períodos del modelo, pero este se determinó por el modelo de programación lineal

El **maximizar** el ingreso por venta de leche sobre los wstos de alimentación o el **minimizar** los costos **para** producciones específicas, son funciones objetivo frecuentes en programas de estudio a nivel de rancho (Glen, 1987). Holmann *et al.* (1990) encontraron que el maximizar el margen neto conduce a diferentes conclusiones acerca de la rentabilidad de ranchos de doble propósito, que el maximizar los ingresos por leche sobre los wstos de alimentación, porque las ventas de animales para carne, las categorias relevantes de animales (como las vacas secas) y otros costos de ingresos se incluyen en el margen neto. La alternativa de minimizar los costos para una producción específica se rechazó debido a que era inconsistente con el tamaño del hato y las cargas animales evaluadas, las que son determinantes para la **rentabilidad** del rancho.

Actividades del Modelo de Programación Lineal.

El modelo de programación lineal incluye el inventario de animales (el número de animales/**período** en 10 **grupos** por edad y sexo). la producción de forraje (área de cultivo) de cada una de las dos categorías de pastos (especies tolerantes y no **tolerantes** al agua) a dos tasas de fertilización por **período**, la compra de alimento (kg/animal/grupo/**período**), el tejido movilizado por las vacas (EM y PM/**período**), la leche vendida (kg/**período**), los animales vendidos (número de **animales** vendidos en cada **período**) y otras entradas (cantidad de fertilizante, herbicida y mano de obra/**período**). El modelo no incluye las actividades de cosecha, debido a que las ventas comerciales de las cosechas en los 22 ranchos de doble propósito contribuyeron con menos del 1 % de sus ingresos.

Restricciones del Modelo.

El modelo PL seleccionó la combinación de actividades que **maximizaran** el margen neto del **hato**, sujeto a las **limitantes** de recursos del rancho, composición del hato y requenmientos de nutrimentos para cada clase de animaies. Las **restricciones** en los recursos del rancho incluyeron el área total de pastoreo, la superficie destinada a pastos tolerantes al agua y la capacidad del rancho de utilizar suplementos alimenticios. La composición del hato se restringió de modo que el número de animales en cada uno de los 10 grupos por **edad-sexo** **podría** cumplir con los patrones existentes de reproducción del ganado y la determinación del número óptimo de **animales** a vender. Las restricciones **nutricionales** requerían que las dietas seleccionadas por el modelo PL llenaran los requenmientos de los animales de EM y PM, sujeto a las restricciones de ingestión de FDN y de MS. Además, se especificaron los requerimientos mínimos para la proporción de FDN en las dietas para vacas, becerros y **vaquillas**. Se requirió la movilización de los tejidos corporales adiposo y proteínico durante el inicio de la lactación y su **replección** antes del próximo parto. Algunas restricciones adicionales balancearon el contenido de proteína de los suplementos alimenticios para cubrir los requerimientos de nitrógeno ruminal.

Coefficientes **Técnicos** del Modelo de Programación Lineal.

El modelo **PL** para producción de ganado de doble propósito **requirió** cuatro tipos de coeficientes **técnicos**: coeficientes del rancho (como tierra y prácticas de manejo del **pastoreo**), coeficientes animales (como requerimientos **nutricionales**, **límites** de ingestión, producción de leche, **peso** corporal y **requerimientos** de mano de obra), y precios y costos (como costos de los ingredientes, precios a los que se vendieron la carne y la leche). **Holmann** (1989) proporciona datos sobre las características de los ranchos, las prácticas **reproductivas** y de manejo del hato que fueron **necesarias para** especificar la estructura del modelo de **programación lineal**. Los **coeficientes para** animales en **crecimiento**, la **producción** y **composición** del forraje y el consumo de **alimento** no estuvieron disponibles en los **22** ranchos; por tanto, se desarrollaron valores **representativos** a partir de la literatura sobre agronomía y **nutrición** animal (Cuadros 2 y 3). El Sistema **Cornell** de **Glúcidos** y **Proteína** Netas (SCGPN) (**Russell et al.**, 1992; **Sniffen et al.**, 1992; **Fox et al.**, 1992) proporcionó los valores nutritivos del alimento y los requerimientos **nutricionales** de los **animales**.

CUADRO 2. VALOR NUTRITIVO Y COSTO POR UNIDAD DE FORRAJE Y ALIMENTO ESPECIFICADO EN EL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL MULTIPERIODICO.

Forraje o alimento	Prod.ton MS/ha/año	EM Mcal/kg de MS	PM g/kg de MS	Costo por unidad	
				EM \$/Mcal	PM \$/kg
Forrajes fertilizados					
Suelos drenados	8.24	2.00	98	.002	.045
Suelos húmedos	10.39	1.88	91	.018	.038
Forrajes sin fertilizar					
Suelos drenados	7.11	1.93	92	.021	.044
Suelos húmedos	9.27	1.86	88	.017	.039
Concentrado comercial		2.53	132	.034	.661
Melaza		2.84	161	.021	.373
Yuca		2.98	179	.033	.553
Leche		5.09	270	.1883	.540

Coefficientes Técnicos del Rancho.

El modelo PL restringió la superficie total disponible a 350 ha., aproximadamente el tamaño promedio que informa Holmann (1989) para los 22 ranchos de doble propósito. No se consideró ninguna superficie adicional que pudiera rentarse debido a que el objetivo era examinar las estrategias de manejo óptimas para un rancho dado, Se asumió que las especies de pastos tolerantes al agua, Alemán (*Echinochloa polystachya*) y Pará (*Brachiaria mutica*), se establecieron en los terrenos sujetos a inundación estacional o con pobre drenaje del suelo. Las diferencias dentro de los ranchos en calidad de terrenos, se consideraron especificando que 40 % de la superficie disponible estaba plantada con pastos tolerantes al agua. Con base en las especies de forrajes documentadas por Holmann (1989), se especificó que en las restantes 210 has creció pasto Guinea (*Panicum maximum*) y Estrella mejorado (*Cynodon nlemfuensis*). Las actividades del modelo permitieron la fertilización durante los tres meses de la estación de sequía, basándose en las prácticas de la región del Lago Maracaibo (Holmann 1989). La suplementación total se restringió al máximo de concentrado proporcionado por animal (3 kg/día durante el período de ordeño) para representar los límites en la capacidad de mano de obra en el rancho y de la infraestructura, para recibir, procesar y proporcionar suplementos.

Coefficientes Técnicos de Alimentación

Los valores de EM y PM (Cuadro 2) de los pastos y de los suplementos, se predijeron usando el Sistema Cornell de Glúcidos y Proteína Netas (SCGPN), el cual requiere la composición química y las tasas de digestión y pasaje (Fox *et al.*, 1992). Las producciones de MS y las composiciones químicas de los forrajes con y sin fertilización se obtuvieron de Combellas y González (1972, 1973a, 1973b), Combellas *et al.* (1971, 1972), Novoa y Rodríguez-Carrasquel 1971, Sotomayor-Ríos *et al.* (1973, 1974) y Arroyo-Aguilú *et al.* (1975). No se tomaron muestras de forraje de los ranchos muestreados. Se especificó una producción de forraje de 7-10 ton de MS/año (Cuadro 2), con base en un esquema de pastoreo rotacional de 30 días, lo cual es una práctica común (Holmann 1989). La fertilización incrementó la producción anual de forraje en un 12-16 % y afectó la composición del forraje. La composición del forraje (y por tanto su valor nutritivo) varió con la estación, pero la variación dentro de cada estación en la composición se ignoró para simplificar la estructura del modelo. Las tasas de digestión del forraje usadas fueron las determinadas por Mertens (1973). Las solubilidades de proteína y las tasas de degradación se basaron en Fox *et al.* (1992), Sniffen *et al.* (1992) y Abdalla *et al.* (1988).

El modelo PL consideró el uso de cuatro suplementos: concentrado comercial, melazas, raíz de yuca (*Manihot esculenta*) y urea (Cuadro 2). Es costumbre que las vacas lactantes en los ranchos muestreados reciban un concentrado comercial. La raíz de yuca, las melazas y la urea fueron alternativas disponibles en la localidad para el concentrado comercial que Townsend *et al.* (1990) evaluaron para vacas en lactación.

CUADRO 3. PROMEDIO DE PESO CORPORAL, CMS Y REQUERIMIENTOS DE EM y PM PREDICHOS POR EL SISTEMA CORNELL DE GLUCIDOS Y PROTEINA NETOS PARA CADA CLASE DE ANIMALES.

Clase de Animal	Peso, Kg	CMS Kg/d	Requerimientos	
			EM, Mcal/kg	PM, g/d
Vacas en lactación				
1-90 días	450	11.5	27.4	1 312
91-270 días	450	12.3	22.9	1 121
Vacas secas gestantes, 271-420 días posdestete				
Hembras	450	9.7	14.8	592
Machos				
0-1 año	132	3.9	8.7	359
1-2 años	291	7.3	14.1	476
2-3 años	368	7.6	14.8	528
Machos				
0-1 año	145	4.1	9.1	390
1-2 años	324	7.9	15.2	526
2-3 años	415	7.9	15.2	480
3-4 años	477	8.5	16.5	506

La composición química del concentrado comercial usado, fue la de una muestra obtenida por M. Morales (Datos no publicados). La composición de las **melazas** y de la **urea** se tomaron de O'Connor et al. (1992) y la **composición** de la raíz de yuca de Van Soest (Datos no publicados) y Longe (1978). **Las tasas** de digestión y pasaje de los suplementos se adaptaron de Sniffen et al. (1992). **Las** actividades del modelo permitieron a los becerros consumir leche, de manera **consistente** con la prevalencia del amamantamiento restringido. **Las** composiciones de la leche residual y de la leche ordeñada se basaron en la composición promedio de leche de Jacobson y McGilliard (1984), y la distribución de las leches residual y ordeñada **según** Campbell y Marshall (1975).

El SCGPN estimó el contenido de Proteína Cruda (PC) en las mezclas de **melaza-urea** y melaza, urea y yuca, necesario para evitar la **deplección** del nitrógeno ruminal. El SCGPN predijo los valores de PM microbiana de los alimentos, asumiendo la disponibilidad de suficiente nitrógeno para permitir el crecimiento microbiano. Por tanto, **se** predijo que los **alimentos** altamente **energéticos** tales como **las melazas** y la yuca producirían más PM que su equivalente de PC. Las simulaciones con el SCGPN indican que fueron necesarios 26.5 % de PC en base a MS para que los suplementos de **melazas-urea**, y **melazas-urea-yuca** cubrieran los requerimientos de nitrógeno ruminal. Por tanto, el modelo de programación lineal requirió las

proporciones de MS de melazas, urea y yuca para contener el equivalente de 25 % de PC. El modelo PL restringió la relación melazas: urea a libertad, a al menos 5 a 1, siguiendo las recomendaciones de Townsend *et al.* (1990).

Coefficientes Técnicos de los Animales

Para cada tipo de animales, se especificaron para cada uno de los seis periodos del modelo, los requerimientos nutricionales, los límites de ingestión de alimento, las reservas de tejido corporal para movilizar, la producción láctea por vaca, la leche consumida por los becerros, los patrones de crecimiento y las necesidades de mano de obra.

Requerimientos Nutricionales y Límites de Ingestión. Los requisitos de EM y PM por periodo para cada tipo de animales se calcularon con el SCGPN. Estos requerimientos variaron dependiendo de la composición de la dieta, para lo cual se usó un procedimiento interactivo que se describe más adelante. La ingestión de MS de las vacas lactantes se predijo con base en la relación entre ingestión de FDN por kg de peso corporal metabólico (Reid *et al.*, 1988), y la relación para la respuesta de ingestión durante la lactación (Williams *et al.*, 1989). La ingestión de MS predicha para otras clases de animales fue la MS necesaria en el SCGPN para alcanzar el crecimiento animal documentado por Holmann (1989), McDowell (1985), Plasse (1979), Valle (1980) y George (1984).

Contenido mínimo de FDN. Mertens (1985) encontró que las mayores producciones de leche se asociaron con contenidos de FDN en la dieta de 34 a 36 % de MS. Aunque el contenido de FDN de los forrajes tropicales en la región del lago Maracaibo es con frecuencia alto (67 %), lo que reduce la posibilidad de dietas deficientes en FDN, se restringió la FDN mínima para vacas lactantes, becerro, y vaquillas de dos años. Los animales que consumieron dietas sólo con forraje no necesitaron una restricción en FDN debido a que su mínimo fue inferior al contenido de FDN del forraje.

Movilización y repleción de tejidos. No se tuvo información disponible sobre los cambios en el peso corporal o en la condición física en los 22 ranchos de doble propósito. Sin embargo, Neidhardt *et al.* (1979) informan de pérdidas de peso durante la lactación de hasta 100 kg. para vacas de carne en Venezuela que producían menos leche que la media muestral de las vacas cruzadas de doble propósito en este estudio. Reyes *et al.* (1981) demostraron que la interacción entre manejo nutricional y tasa de recambio de tejido corporal puede influir en la rentabilidad de los hatos lecheros. Por tanto, las estrategias nutricionales diseñadas para satisfacer completamente los requerimientos nutricionales actuales pueden no maximizar la rentabilidad del rancho. El modelo limitó el total de reservas tisulares disponibles para movilización a 20 % del peso corporal de una vaca (90 kg). Las reservas de tejido adiposo y proteico se trataron como recursos independientes. La reserva de tejido adiposo fue igual al total de reservas tisulares menos la predicción del SCGPN de 23 kg de proteína metabolizada para las vacas sometidas a las dietas de forraje-concentrado.

Las soluciones iniciales del modelo predijeron la movilización de 5.1 % (23 kg) del peso corporal como proteína, lo que resulta superior al 3.75 % de peso corporal encontrado por **Botts et al.** (1979) para vacas lecheras en los Estados Unidos. Sin embargo, alguna evidencia sugiere un incremento en la contribución de la reserva de urea a los requerimientos de nitrógeno en vacas con baja producción (**Mugerwa y Conrad**, 1971). Debido a esta inconsistencia en las reservas tisulares de proteínas potenciales, una versión del modelo de programación lineal ignoró la movilización de proteína.

El SCGPN predijo balances de EM y de PM a través de la lactación, los cuales definieron las proporciones del período de lactancia en los que las vacas estaban movilizando o formando sus tejidos. Las vacas regresaron a un balance de energía positivo a los 90 días, cuando se sometieron a dietas típicas de forraje y concentrado. Se predijo que ocurriría un balance de proteína positivo aproximadamente a los 150 días, pero el balance negativo fue inferior al 5 % de los requerimientos después de los 90 días. Por tanto, el modelo PL especificó que la repleción tanto de tejido adiposo como proteico inicio a los 90 días de ordeño.

Los valores nutritivos difirieron de las cantidades equivalentes de tejido para movilización y repleción. La energía del tejido adiposo fue el producto de la energía bruta contenida en la grasa (9.527 Mcal/kg) y su eficiencia de utilización de 0.82 (**Moe et al.**, 1971), la cual produjo 7.81 Mcal de EM/kg de tejido adiposo catabolizado. El tejido adiposo para repleción durante la lactación requirió 8.13 Mcal de EM (4 % más que la cantidad proporcionada para la movilización) y 10.37 Mcal de EM (33 % más, durante el período seco). La producción de proteína tisular se basó en una eficiencia de movilización de la proteína de 80 % (**NRC**, 1988). Por tanto, 1 kg de proteína corporal produjo 800 g de PM. La repleción de 1 kg de proteína requirió 1 kg de PM durante la lactación, y 2 kg de PM durante el período seco, con base en las relaciones de movilización-llenado para PC en las tablas del **NRC** (1988).

Producción de leche. La producción de 2 500 kg en una lactancia de 270 días se basó en las ventas promedio de leche por lactación de 1 890 kg (**Hoimann et al.**, 1990), y en el consumo de leche por el becerro de 610 kg, estimado por el SCGPN. Esto resultó consistente con las producciones obtenidas con ganado cruzado en Venezuela, con menos de 50 % de germoplasma Holstein (**Stanton y Blake**, datos no publicados). La producción láctea por vaca y período, fue el promedio del número de períodos de lactación entre el número de días por período.

Transferencia del hato. Los coeficientes de transferencia del hato se basaron en las tasas de nacimiento y mortalidad en ranchos de doble propósito, limitado por los números relativos de animales en cada clase. Estas restricciones en la estructura del hato definieron la relación entre las hembras en edad reproductiva y otras clases de animales, aunque permitían que se determinara un tamaño óptimo del hato en función de los recursos disponibles. La estructura del hato consideró: 1) El número de animales en el período inicial del modelo; 2) Los números de vacas y becerros en diferentes períodos; 3) La proporción de vacas en varias etapas de lactación; 4) La transferencia de animales a períodos subsecuentes y 5) La cría de vaquillas de reemplazo.

Cuidado de los animales. La mano de obra requerida para el ordeño, la alimentación, el pastoreo y la vacunación de cada clase de animales fue una variable muy costosa en ranchos de doble propósito (Ramírez, 1987). Se especificaron los requerimientos para cada clase de animales considerando dos clases de trabajo: para ordeño y actividades de manejo rutinarias, y para actividades estacionales, con base en los hallazgos de Holmann *et al.* (1990) y en las sugerencias de los productores de la región del Lago Maracaibo. Se requirió el equivalente de un trabajador de tiempo completo (TTC) para ordeñar 20 vacas y un TTC fue necesario por cada 100 vacas para las actividades de manejo rutinarias. Los becerros, las vaquillas y los novillos requirieron menos mano de obra que las vacas.

Ventas de animales. Las ventas de animales ocurrieron al presentarse incrementos anuales en la edad, y los patrones de crecimiento para ganado de doble propósito fueron los de McDowell (1985), Plasse (1979), Valle (1980), George (1985) y Thornton (1987). Las vacas alcanzaron un peso adulto de 450 kg y el peso de un novillo a los 4 años rebasaba los 500 kg (Cuadro 3).



Precio y coeficientes de costos técnicos.

La función objetivo del modelo PL incluyó los costos de los insumos comprados y los precios de las ventas de leche y de ganado. Los insumos que se compraron fueron servicios de salud y medicinas, inseminación artificial, alimentos, mantenimiento de praderas establecidas (fertilizante, herbicida y mano de obra) y mano de obra para el cuidado de los animales (ordeño, alimentación y manejo). Los costos y los precios son los promedios para 1987 y 1988.

Los costos de los servicios médicos, medicinas, inseminación artificial y alimentos (excepto leche y yuca) fueron los de Holmann y colaboradores (1989, 1990). La leche que tomaron los becerros se tasó a un precio de mercado de US\$ 0.16/kg. El costo de la yuca se basó en los gastos de producción (Townsend *et al.*, 1990). El fertilizante, el herbicida, la mano de obra y los costos asociados al mantenimiento de praderas se obtuvieron de Ramírez (1987), Holmann *et al.* (1989, 1990) y A. Fernández (comunicación personal). Los requerimientos de mano de obra y los costos del cuidado de animales fueron también los de Holmann (1989) y los de Fernández (comunicación personal). El precio que se pagó a los productores por la leche, US\$ 0.16/kg, provino de Vollmer (1988) y de Holmann (1989). Los precios de los becerros (excepto el precio para vaquillas de cría) estuvieron en relación con las categorías establecidas por el gobierno resumidas por Vollmer (1988), con un rango de US\$ 0.53/kg de peso vivo para vacas en ordeño hasta US\$ 0.66/kg de peso vivo por los becerros machos y los novillos. El precio para las vaquillas de reemplazo fue el de González (comunicación personal). Los costos por unidad de EM y PM de forrajes y suplementos se presentan en el Cuadro L.

Procedimiento interactivo para la evaluación de dietas óptimas.

Los **requerimientos** de **nutrimentos** animales y los valores nutritivos de los forrajes y **alimentos** variaron dependiendo de la composición de la dieta (Fox **et al.**, 1992). Por tanto, el supuesto de coeficientes nutricionales **constantes** que se presenta típicamente en la matriz de programación lineal **es** incorrecto. Para evitar los errores asociados con esta interacción, se usó un procedimiento interactivo donde las dietas óptimas para el modelo PL se reconciliaron con las predicciones del SCGPN de los valores nutritivos para ellas. El mejorar la precisión de los requerimientos **nutricionales** correspondientes a las soluciones de dieta óptima, ayudó a asegurar que se obtuviera el **desempeño** especificado. A continuación se presentan los detalles del procedimiento interactivo seguido.

Se predijeron los requerimientos nutritivos iniciales por grupos de edad y sexo y los/ valores nutritivos de los alimentos usando el SCGPN para la estrategia típica de alimentación con forraje y concentrado. Estas predicciones generaron las **matrices** de los coeficientes nutricionales para cada período y se obtuvo una **primera** solución al modelo PL. Se calcularon las dietas promedio dianas a partir de la solución inicial, y se usaron en el SCGPN para revisar los valores nutritivos de los alimentos y los requerimientos nutritivos diarios para cada grupo animal en cada **período**. A fin de simplificar el proceso interactivo, estas dietas diarias se **reevaluaron** para un solo día en cada período. Estas nuevas estimaciones de los valores de EM y PM y de los requerimientos se tomaron como **coeficientes** de la matriz del modelo LP revisados, la cual **se** resolvió de nuevo.

Este procedimiento **se** repitió hasta que la composición de la dieta (y por **tanto** los valores nutritivos y los requerimientos de nutrimentos) predicha por el modelo PL cambiara **poco** de una interacción a la siguiente. En todos los **casos**, esta convergencia ocurrió después de tres interacciones. El procedimiento interactivo permitió al modelo PL contar con vanaciones hasta de 5 % en los valores nutritivos del alimento y variaciones hasta de 3 % en los requerimientos nutricionales de los animales. El margen neto del hato para las formulaciones finales del modelo fueron desde 1.3 % abajo a 1.4 % arriba del margen neto de las formulaciones **iniciales**.

Estrategias de manejo nutricional evaluadas

Se usó el modelo PL y el procedimiento interactivo con el SCGPN para evaluar tres estrategias de manejo nutricional: 1) La estrategia de alimentación típica usada en 1987 y 1988 (llamada la estrategia base), 2) La distribución óptima de concentrado comercial entre los **grupos** de animales, 3) El uso de alimentos alternos (**melazas**, **urea** y **yuca**) como suplementos. Se formuló un modelo PL separado para representar cada estrategia de **manejo** nutricional. Dos **modelos** PL adicionales examinaron las variantes de las estrategias de **alimentación** alternas, con la restricción de que la pastura no se fertilizara, e ignorando la fuente de proteína tisular.

Las estrategias base y de concentrado óptimo (CO) permitieron que sólo se usara concentrado comercial como suplemento. La estrategia de alimentación base consistió en proporcionar forraje y 1.8 kg de MS/día de concentrado a las vacas lactantes (Townsend *et al.*, 1990). La distribución óptima de la estrategia CO evaluó si la suplementación de concentrado difería de las prácticas básicas para mejorar la rentabilidad del hato. El concentrado se podía usar para alimentar a las vacas sujetándose sólo a las restricciones nutricionales de EM, PM, FDN y MS.

La estrategia de manejo nutricional con aiirnenros alternos (AA), permitió la suplementación con yuca, melazas y urea, además de concentrado comercial y por tanto fue la alternativa menos restrictiva. Dos versiones adicionales de esta estrategia se usaron para probar la sensibilidad de las soluciones del modelo a la fertilización de praderas (la estrategia de forrajes sin fertilizar, SF) y la movilización de tejido proteico predicha en vacas lactantes (el supuesto de sin proteína tisular, SPT). La estrategia AA evaluó la conclusión de Townsend *et al.* (1990) de que la yuca, las melazas y la urea, pueden reemplazar rentablemente al concentrado en dietas para vacas de doble propósito. ■

RESULTADOS Y DISCUSION

Validación del Modelo

Para evaluar la estructura del modelo PL y los coeficientes técnicos, las predicciones del modelo para la carga animal y la producción de leche/ha/año se compararon con las medias de la muestra y la variación para los 22 ranchos de doble propósito. La carga animal predicha por la formulación del modelo base, 2.3 UA, estuvo dentro del rango de 0.86 a 4.07 UA/ha observada para los 22 ranchos. La producción de leche de 2 138 kg/ha/año predicha por el modelo base estuvo también dentro del rango de 338 a 2 571 kg/ha/año para los ranchos muestreados. La carga animal predicha y la producción de leche por unidad de superficie del modelo base estuvieron dentro del quintil más alto de los ranchos muestreados para estas medidas. Por tanto, el modelo base es representativo de los ranchos más productivos de la muestra.

Las soluciones del modelo PL constituyeron representaciones razonables de los hatos en el sistema de doble propósito, porque las predicciones del modelo base sobre la productividad del rancho fueron consistentes con el rango exhibido por los 22 ranchos. En consecuencia, las modificaciones del modelo base para representar las estrategias alternativas de manejo deben proporcionar predicciones plausibles del nivel de desempeño del sistema de doble propósito. Se evaluó cada estrategia de manejo nutricional examinando el inventario óptimo de animales, la composición de las dietas óptimas para las vacas, el patrón de movilización tisular y de repleción de las vacas, la restrictividad de las limitantes nutricionales y el margen neto del hato, predichos por la correspondiente formulación del modelo de programación lineal.

Inventario de animales

Las predicciones sobre la composición del hato fueron similares a la composición media real del hato para cada estrategia y para las dos variantes de la estrategia AA, aunque se indicaron algunas vaquillas menos por las soluciones del modelo que las que realmente se tuvieron en 1987 y 1988 (Figura 1).

Los inventarios óptimos por grupo animal, expresados como promedios anuales para el periodo de 3 años, indicaron tamaños de hato mayores que la media real de 469 UA para 1987-88. Sin embargo, los ranchos que Holmann (1989) muestreó tenían hasta 760 vacas, número comparable con lo predicho por los modelos PL. Estos resultados indican que el manejo nutricional alternativo puede permitir un uso más intensivo del terreno. Las estrategias CO y AA permitieron incrementos totales de 14 y 12 % en el tamaño del hato y en la carga animal, en comparación con la estrategia base.

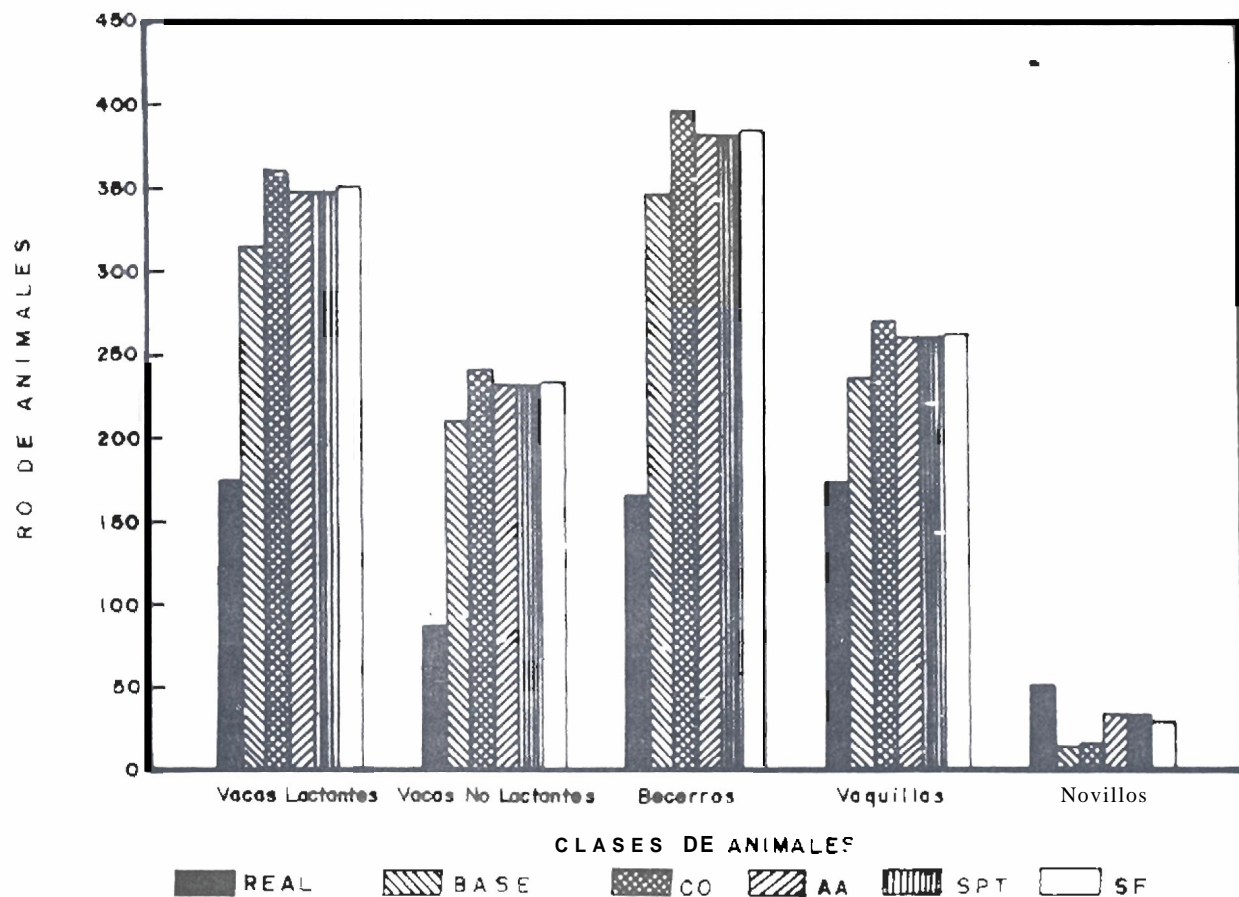


FIGURA 1. Inventario promedio real del hato por clase de animales en los 22 ranchos de doble propósito e inventarios predichos por las estrategias Base, de Concentrado Óptimo (CO), de Alimentos Alternos (AA), de Forrajes Sin Fertilizar (SF) y la variante de Sin Proteína Tisular (SPT) del modelo de Programación Lineal.

Además, la estacionalidad en la producción del forraje se relaciona con la intensidad en el uso del suelo. Las soluciones del modelo PL indican un exceso de terreno (recursos forrajeros) durante la estación *seca* para todas las estrategias de manejo, excepto para la variante AA sin fertilización de praderas. Sin embargo, las estrategias CO y AA incrementaron la utilización de los recursos forrajeros en la estación *seca* a 78 y 76 % respectivamente, en comparación con 64 % de la estrategia base.

Dietas óptimas para vacas

El modelo de programación lineal seleccionó simultáneamente dietas para cada grupo de animales. Para los hatos de doble propósito, los cambios en las dietas óptimas para vacas merecieron particular atención porque la mayoría de los costos de alimentación del hato se debieron a las vacas lactantes (Holmann, 1989; Holmann *et al.*, 1990). Las dietas óptimas en los primeros 90 días de lactación difirieron marcadamente con cada estrategia nutricional, aunque el Consumo de Materia Seca (CMS) total no (Cuadro 4). Durante la estación lluviosa, tanto para la estrategia CO como para la AA, la suplementación fue mayor en relación con la estrategia base, debido a que la energía y la proteína del forraje disminuyeron durante estos meses. La menor disponibilidad de nutrimentos forrajeros durante la estación lluviosa resultó de la fertilización en la estación seca. El patrón estacional en la mayoría de las otras regiones de América Latina significa menos nutrimentos a partir del forraje y mayor suplementación durante la estación seca (Seré y Vaccaro, 1985).

El uso del concentrado en la estación lluviosa (Cuadro 4) se incrementó en más de 4 kg de MS/día (de 1.8 a 5.9 kg) para la estrategia CO en comparación con la estrategia base, lo que indica que la muestra de ganaderos en estudio subestimó este concepto. La suplementación con melazas y urea fue la más rentable para la estrategia AA, por lo que estos ingredientes pueden ser sustitutos del concentrado comercial. Las dietas óptimas en los primeros 90 días de lactación fueron idénticas para la estrategia AA y sus dos variantes. La raíz de vaca no resultó óptima para ninguna clase de animales, período del modelo o estrategia de manejo nutricional.

Los cambios en la composición de la dieta con la estrategia del manejo fueron similares para las vacas de 91 a 270 días en ordeño y para las vacas en el primer trimestre de lactancia. La estrategia CO usó cerca de 3 kg MS/día más de concentrado que la estrategia base en la estación lluviosa, mientras que la estrategia AA requirió menos de 1 kg de MS/día (melazas y urea) que la dieta base. Las dietas óptimas para vacas secas consistieron sólo en forraje para las estrategias base y CO, mientras que la estrategia AA en la estación lluviosa demandó una pequeña cantidad de suplementación con melazas - urea. La dieta óptima para la variante SF fue idéntica a la de la estrategia AA, pero una suplementación de 2 kg más de melazas-urea resultó óptima para vacas de 91 a 270 días en ordeño que para la variante SPT.

CUADRO 4b. DIETAS OPTIMAS* (Kg MS/día) PARA VACAS POR ESTACION, ETAPA DE LACTACION Y ESTRATEGIA DE MANEJO NUTRICIONAL (CONTINUACION)

ESTACION, ETAPA DE LACTACION ESTRATEGIA DE MANEJO	FORRAJE				SUPLEMENTOS				
	FERTILIZADO		SIN FERTILIZAR		CONC	MELAZA	UREA	YUCA	TOTAL
	DREN	HUM	DREN	HUM					
ESTACION SECA									
Vaca, 1-90 d. en ordeño									
Base	8.7	1.0			1.8				11.5
Conc. óptimo	10.0				1.4				11.4
Alimentos alternos	10.5					0.9	0.1		11.5
Sin proteína tisular	7.8					3.4	0.3		11.5
Forraje sin fertilizar			5.4			5.6	0.5		11.5
Vaca, 91-270d en ordeno									
Base		10.5			1.8				12.3
Conc. óptimo	11.0				.9				11.9
Alimentos alternos	11.3					.7	.1		12.1
Sin proteína tisular	11.3					.3			11.6
Forraje sin fertilizar			5.7	3.4		2.4	.2		11.70
Vaca seca									
Base		8.0							8.0
Conc. óptimo		8.1							8.1
Alimentos alternos		8.0							8.0
Sin proteína tisular		8.1							8.1
Forraje sin fertilizar			3.9	3.7					7.6

* Composición promedio diaria, calculada como cantidad de ingrediente **total** por período dividida por animal/días.

CONC = Concentrado

DREN = Drenado

HUM = Húmedo

CUADRO 4a. DIETAS OPTIMAS* (Kg MS/día) PARA VACAS POR ESTACION, ETAPA DE LACTACION Y ESTRATEGIA DE MANEJO NUTRICIONAL

ESTACION, ETAPA DE LACTACION ESTRATEGIA DE MANEJO	FORRAJE		SUPLEMENTOS			TOTAL
	FERTILIZADO DREN	SIN FERTILIZAR HUM	CONC	MELAZA	UREA YUCA	
ESTACION LLUVIOSA						
Vaca, 1-90 d. en ordeño						
Base	6.5	3.2	1.8			11.5
Conc. óptimo	5.5		5.9			11.4
Alimentos						
aliemos	5.4			5.6	.5	11.5
Sin proteína tisular	5.4			5.6	.5	11.5
Forraje sin fertilizar	5.4			5.6	.5	11.5
Vaca, 91-270 d. en ordeño						
Base	7.1	3.4	1.8			12.3
Conc. óptimo	6.4		4.6			11.0
Alimentos						
alternos		9.6		2.5	.2	12.3
Sin proteína tisular		8.3		3.3	.3	11.9
Forraje sin fertilizar		9.6		2.5	.2	12.3
Vaca seca						
Base	3.1	5.4				8.5
Conc. óptimo	7.5					7.5
Alimentos						
aliemos	7.2			.6	.1	7.9
Sin proteína tisular	7.2			.6	.1	7.9
Forraje sin fertilizar	7.2			.6	.1	7.9

* Composición promedio diaria, calculada como cantidad de ingrediente total por período dividida por animal/días.

CONC = Concentrado DREN = Drenado HUM = Húmedo

En la estación **seca**, las mayores producciones de forraje y valores **nutritivos resultaron** en una menor suplementación que en la estación lluviosa. El uso de concentrado para la dieta **base durante** la estación **seca** fue de aproximadamente 0.5 kg de **MS/día** más que el óptimo para vacas en el primer trimestre y 1 kg de **MS/día** más que el óptimo para vacas de 91 a 270 días en ordeño. Bajo la estrategia **M**, se usó menos de 1 kg de **melazas y urea** como suplemento. Para vacas **secas**, las dietas para las estrategias **base, CO** y **AA** consistieron enteramente de forraje.

Las **diferencias** en las dietas óptimas entre la estrategia **AA** y sus variantes **SF** y **SPT** fueron mayores en la temporada **seca** que en la lluviosa. Para las vacas en el primer trimestre de **lactación**, la dieta óptima en la estación **seca** para la variante **SF** fue **idéntica** a la dieta óptima en la estación **lluviosa** para la estrategia **AA**. Para contrarrestar los efectos de la menor producción y **calidad** del forraje sin fertilización en la estación **seca**, fueron necesarios más de 6 kg de suplemento. También **se** necesitó más suplementación bajo la variante **SF** para vacas de 91 a 270 días en ordeño. Las vacas en el **primer** trimestre de **lactación** necesitaron 2.5 kg más de suplemento en la estación **seca** para la variante **SPT** que para la estrategia **AA**, debido a que la dieta llenaba sus requerimientos actuales de proteína. Sin embargo, las vacas de 91 a 270 días en ordeño consumieron menos suplemento bajo la variante **SPT** que en la estrategia **AA**, debido a que no había proteína **tisular** para **replección**.

Patrones de **movilización** de tejido corporal y de **replección**

Se supuso que la suplementación óptima para cada estación dependería de la suplementación previa debido a la dinámica de la tasa de recambio del tejido corporal. Los **resultados** del modelo **PL** apoyan la hipótesis de que la tasa de **recambio** de tejido corporal en vacas **es** una parte integral del manejo **nutricional** óptimo en los **sistemas** de doble propósito. La movilización de tejido adiposo **se** presentó en cada solución al modelo de programación lineal en las estaciones lluviosa y seca (Figura 2), lo **cual** coincide con los hallazgos de Reyes **et al.** (1981) para vacas lecheras en los Estados Unidos.

La **interacción** entre el manejo **nutricional**, la **dinámica** del tejido corporal y la **estacionalidad** de los recursos **forrajeros se** ilustra por la dietas óptimas y por los patrones de **movilización - replección** en las vacas de doble propósito. La suplementación óptima para vacas **con** menos de 90 días en ordeño durante la estación lluviosa, fue mayor para las estrategias **CO** y **AA** que para la estrategia **base**. El incremento en la concentración de energía y proteína en la dieta para la estación lluviosa en comparación con la estrategia **base**, implica que las vacas movilizaron menos tejido corporal. Se necesitaran menos **nutrientes** en la dieta para repletar el tejido corporal a finales de la lactación, en tanto que la suplementación en temporada **seca** para las estrategias **CO** y **AA** fue inferior que para la estrategia **base**. Por tanto, una mayor suplementación a las vacas en su primer trimestre en la estación lluviosa redujo la **movilización** de tejido y disminuyó la suplementación óptima en comparación con la estrategia **base** para vacas con 90 a 170 días en ordeño durante la estación **seca**.

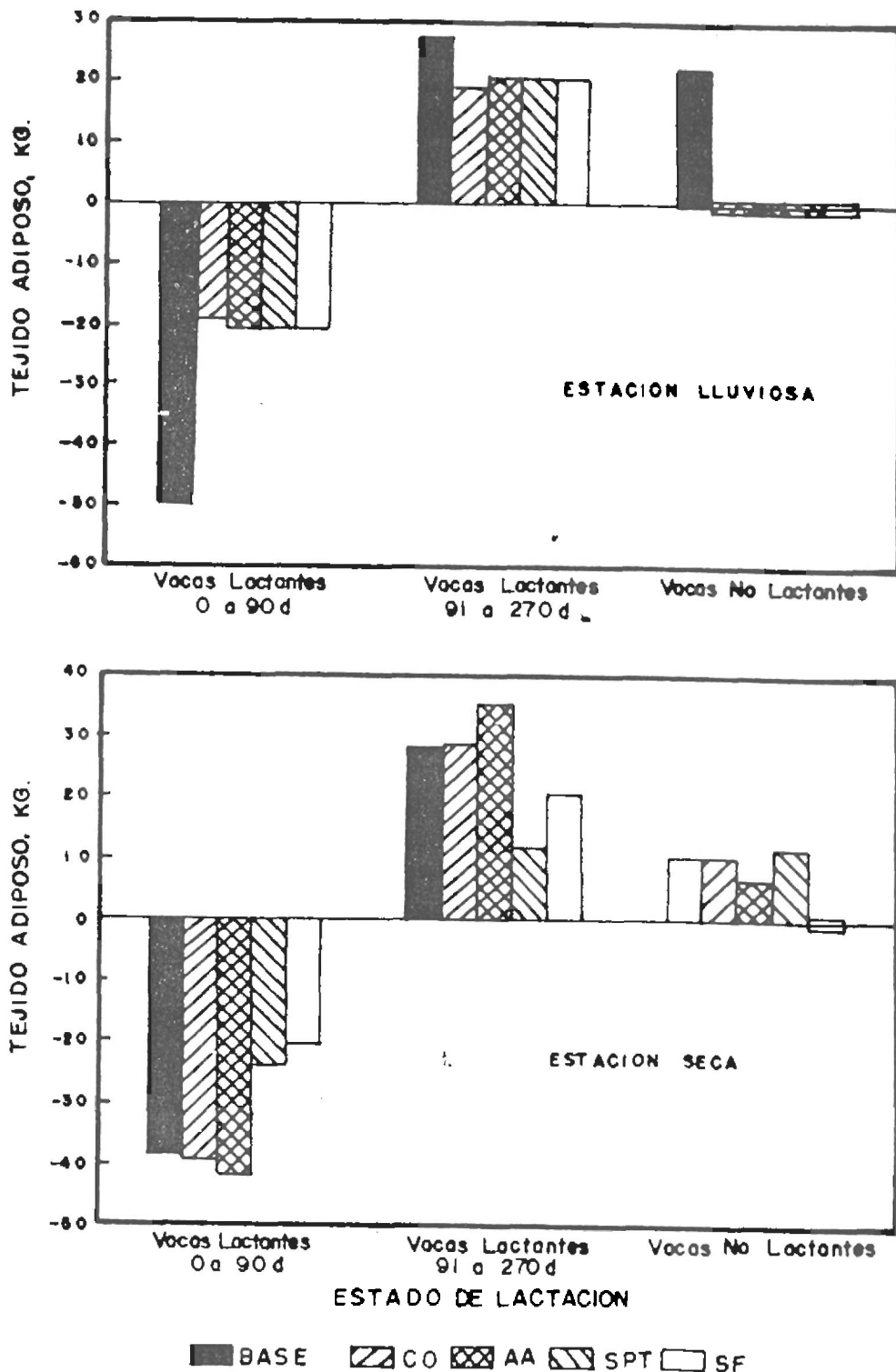


FIGURA 2. Movilización y repleción de tejido adiposo predicho por las estrategias Base, de Concentrado Optimo (CO), de Alimentos Alternos (AA), de Forrajes Sin Fertilizar (SF) y la variante de Sin Proteína Tisular (SPT) del Modelo de Programación Lineal para vacas lactantes y secas en la estaciones lluviosa y seca, por estado de lactación.

El modelo de programación **lineal** predijo marcadas diferencias en **los** patrones de movilización de tejido y **replección** entre la estrategia base y las estrategias **CO** y **AA**. **Cerca** de 50 kg de tejido adiposo **se** movilizaron en la estación lluviosa para la estrategia base, lo cual **representó** 75 % del límite de la movilización de tejido adiposo.

En consecuencia, **sólo** 55 % del tejido movilizado podía ser **repletado** durante la lactación, cuando la eficiencia biológica era la más alta (Figura 2a). En comparación con la estrategia base, menos de la mitad del tejido adiposo se **movilizó** para las estrategias **CO** y **AA** durante la estación lluviosa, porque las vacas al inicio de su lactación estaban mejor suplementadas. Como resultado, lo óptimo fue repletar todos los tejidos **adiposos** durante la lactación, debido parcialmente a que **había** menos tejido que movilizar. Por tanto las estrategias de manejo **nutricional** **CO** y **AA** **podían** también beneficiar el comportamiento reproductivo a largo plazo y el ingreso neto, mediante la atenuación de las pérdidas de tejido **corporal** al inicio de la lactación.

Para la estrategia base, **se** movilizó menos tejido adiposo en la estación **seca** que en la lluviosa (Figura 2b), pero se **catabolizó** más para las estrategias **CO** y **AA** en la estación **seca** que en la lluviosa. Una mayor **tasa** de recambio de tejido en las estrategias **CO** y **AA** **se** debió en parte a la presencia de mayor cantidad y mejor calidad de **forraje** en la dieta. Durante la estación **seca**, ocurrió una menor movilización de tejido adiposo bajo la estrategia de manejo **SF** y cuando se ignoró la proteína **tisular**. De manera independiente a la estrategia, las vacas se repletaron aproximadamente con 75 % de tejido adiposo durante la lactación. La movilización de tejido proteico predicha para la dieta base en la estación lluviosa (Figura 3a) de cerca de 26 kg, **excedió** el **tamaño** de la reserva estimada por **Botts et al.** (1979). **Sólo** 1.9 kg de la cantidad a movilizar predicha pudo **ser** repletada durante el resto del intervalo entre partos, lo cual indica que la estrategia base no podía ser sostenible. Sin embargo, esta conclusión entra en conflicto con la realidad en el campo. El modelo de programación **lineal** predijo que las vacas movilizarían **menos** proteína **tisular** bajo la estrategia **CO** que en la estrategia base y no **movilizarían** ningún tejido proteico bajo la estrategia **AA**.

La movilización de proteína **tisular** en la estación **seca** (Figura 3b) para la estrategia base fue inferior que **en** la estación lluviosa (13.8 kg), pero resultó mayor para las estrategias de manejo **CO** y **AA**. No **se** movilizó proteína **tisular** para la estrategia **SF** **durante** la estación **seca**. Bajo las estrategias de manejo **CO** y **AA**, las vacas utilizaron todo el tejido durante la lactación, **pero** para la estrategia base algo de la proteína fue repletada por las vacas **secas**. Por tanto, las estrategias de manejo **CO**, **AA** y **SF** pueden disminuir los factores **estresantes** asociados **con** la movilización y **replección** de proteína **tisular**, lo cual podía afectar el desempeño a largo **plazo** del animal.

Costos diarios de las **dietas óptimas**

Las dietas óptimas para los **grupos** de animales no fueron de costo mínimo (Cuadro 5). Los costos de las dietas óptimas para vacas **lactantes** bajo la estrategia **CO** en la estación lluviosa

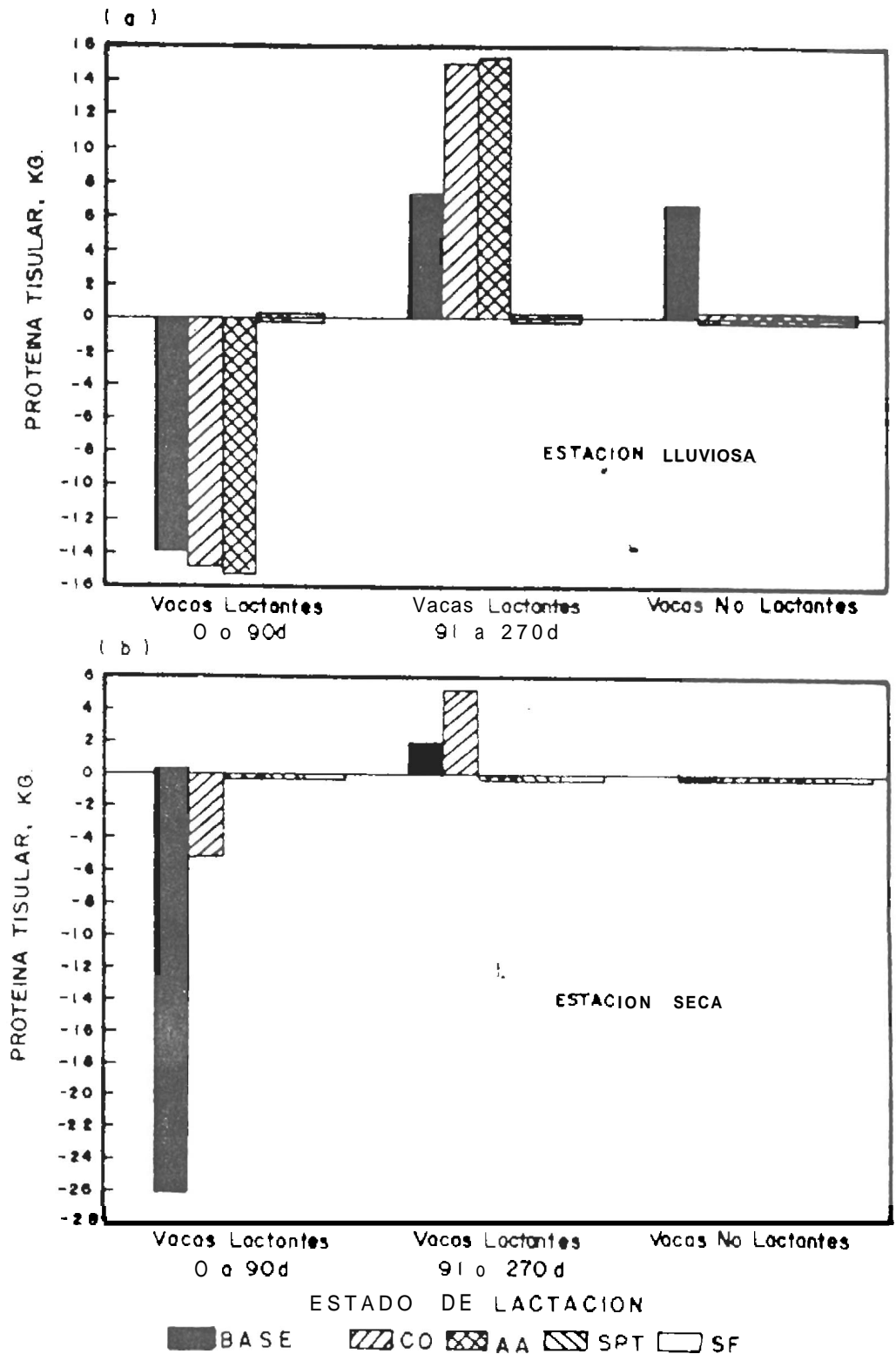


FIGURA 3. Movilización y Repleción de Proteína Tisular Predicha por las estrategias Base, de Concentrado Óptimo (CO), de Alimentos Alternos (AA), de Forrajes Sin Fertilizar (SF) y la variante Sin Proteínas Tisular (SPT) del modelo de programación lineal para vacas lactantes y secas en la estación lluviosa y seca, por estado de lactación.

(cuando había menos forraje disponible) fueron mayores que para aquellas de la estrategia base, aunque la estrategia **CO** permitió un mayor margen neto en el hato (Cuadro 8). Se obtuvieron resultados similares bajo la estrategia AA para vacas de 90 a 270 días en ordeño que para las **secas**. El aumento en el costo de la suplementación para vacas en la temporada de lluvias fue en parte **redituable** debido a que permitió mayor w g a animal y un mejor uso del terreno (por ejemplo, recursos forrajeros). Cuando **se** aplican correctamente, la mayoría de los suplementos dietéticos **para** vacas lactantes permiten que **se** mantenga en la misma pradera un mayor número de becerros, **vaquillas** y novillos. El costo de la suplementación durante la estación **seca** con las estrategias CO y AA fue generalmente inferior que para la estrategia base, debido a que estas estrategias implicaron una mayor suplementación en la temporada lluviosa (Cuadro 5).

Análisis de las restricciones nutricionales

Uno de los principales objetivos de este estudio fue evaluar la importancia de las restricciones nutricionales en la productividad y rentabilidad de los **ranchos** de doble propósito. **Las** restricciones nutricionales en el marco de un modelo PL se pueden evaluar en al menos tres formas: el número de veces en que el recurso de un modelo **se** agota completamente, el **porcentaje** de diferencia entre el uso de un recurso y su disponibilidad, y los precios sombra, que indican cambios en la función objetivo como resultado de alterar la disponibilidad de recursos.

Con base en el número de **períodos** en los que **se** fijó una restricción nutricional, la limitación más importante en el sistema de doble propósito fue la ingestión de energía para cubrir los requerimientos de los animales. Los requerimientos de energía **metabolizable** se fijaron para todos los **grupos** de animales, estrategias de manejo y períodos. Este hallazgo concuerda con la conclusión de Franco (1987), quien encontró que la energía fue mucho más **limitante** que la proteína para hatos de doble propósito en Colombia. Townsend *et al.* (1990) también predijeron un **severo** balance negativo de **energía**, en promedio para vacas lactantes consumiendo dietas de costo mínimo en Venezuela. La severidad de las restricciones energéticas en los sistemas de doble propósito en Latinoamérica sugieren que una mayor suplementación apropiadamente administrada **podría** mejorar el margen neto del hato, sobre todo al hacer que las **limitantes** energéticas **sean** menos restrictivas a través de las etapas productivas de los animales del hato (aunque las restricciones de energía permanezcan fijas).

Las vacas lactantes tuvieron como limitantes las ingestiones de proteína, FDN o MS en la mayoría de los periodos (Cuadro 6). Los becerros también **se** vieron restringidos por la **ingestión** de FDN y las **limitantes** de CMS fueron importantes para las **vaquillas** de 2 a 3 años. Los novillos que consumieron dietas de forraje estuvieron restringidos en su ingestión de FDN en solo uno o dos períodos para todas las formulaciones del modelo. El número de restricciones que se fijaron señaló la importancia relativa de las limitaciones para cada grupo de animales y estrategia de **manejo**. Por ejemplo, las vacas lactantes se vieron limitadas principalmente por CMS en la estrategia de manejo base, **pero** la ingestión de proteína fue también limitante bajo la estrategia CO. Las ingestiones de proteína y FDN fueron más restrictivas para las vacas

CUADRO 5. COSTO DIARIO* DE **DIETAS OPTIMAS** REPRESENTATIVAS PARA HEMBRAS POR ESTACION, CLASE DE ANIMALES Y ESTRATEGIA DE MANEJO (US\$/D).

ESTACION, CLASE DE ANIMALES	ESTRATEGIA DE MANEJO NUTRICIONAL				
	BASE ^a	CO ^b	AA ^c	SPT ^d	SF ^e
ESTACION LLUVIOSA					
Vacas					
0- 90 días	.18	.53	.36	.53	.36
91-270 días	.18	.42	.17	.22	.17
secas	.02	.02	.06	.06	.06
Vaquillas					
1-2 años	.02	.02	.02	.02	.02
2-3 años	.31	.17	.20	.10	.20
Beceros					
0-1 años ^f	.35	.32	.32	.32	.35
ESTACION SECA					
Vacas					
0- 90 días	.22	.19	.13	.26	.39
91-270 días	.22	.15	.12	.10	.22
Secas	.05	.05	.05	.05	.05
Vaquillas					
1-2 años	.05	.05	.05	.05	.06
2-3 años	.08	.08	.05	.05	.21
Beceros					
0-1 años	.33	.33	.32	.32	.36

• **Costos/animal/día** para dietas óptimas

^a Dieta base

^b Dieta con uso óptimo de concentrado como suplemento

^c **Dieta** con uso de alimentos **alternos**

^d Dieta con uso de alimentos **alternos**, sin **movilización** de proteína **tisular**

^e Dieta con uso de alimentos alternos, sin fertilización de **forraje**

^f **Los** becerros machos y hembras se agruparon para calcular los costos del alimento.

CUADRO 6, NUMERO DE **LIMITANTES FIJADAS** POR CLASE DE ANIMAL Y ESTRATEGIA DE MANEJO **NUTRICIONAL**

CLASE DE ANIMAL	PROTEINA					INGESTION DE FDN					I M S				
	B	CO	AA	SPT	SF	B	CO	AA	SPT	SF	B	CO	AA	SPT	SF
Vacas															
0-9 días	2	5	3	4	0	3	4	3	0	0	6	5	6	6	6
91-270 días	2	5	4	0	1	3	4	3	3	0	6	2	1	0	1
secas	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Vaquillas															
1-2 años	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	*	*
2-3 años	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	5	3	4	3
Novillos															
1-4 años	1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	*	*	*	*	*
Becerras															
0-1 años	0	0	0	0	0	6	4	3	4	7	1	0	0	0	2

* = No se especificaron **restricciones** en CMS **porque se** supuso que la ingestión de FDK **estaba limitada** en las dietas en que **sólo se** consumía forraje.

lactantes con la estrategia CO que para las estrategias base o AA. Por tanto, las intervenciones nutricionales apropiadas variarán dependiendo de las prácticas actuales de manejo, debido a la importancia relativa de las diferentes **limitantes** fijas que **se** modifican con el manejo **nutricional**.

El **cuantificar** el exceso o **falta** de recursos **complementa** la **información** acerca de las **limitantes nutricionales** fijas. El exceso de proteína implica que los animales consumen más de la PM requerida para cubrir sus requerimientos. Los valores de ingestión por defecto indican que los animales pueden consumir FDN o MS adicional. Tanto el exceso como la deficiencia en la ingestión de proteína **se** expresan como porcentajes de los requerimientos de PM o de la ingestión de **FDN** o de MS permisible para períodos del modelo representativos (Cuadro 7).

Casi todos los grupos de animales consumieron un exceso de proteína en ambas estaciones. El exceso de proteína resultó de la deficiencia inherente de energía en relación con la proteína en el forraje tropical. En consecuencia, la suplementación diseñada para mejorar el balance de energía y proteína en las dietas pudo quizá reducir el exceso en el consumo de proteína, aunque también se necesita considerar el balance de nitrógeno ruminal. En todas las estrategias de manejo, las vacas tuvieron el menor consumo excedente de proteína que los otros **grupos** de animales. En cambio, las vacas en lactación consumieron más proteína adicional durante la estación lluviosa que durante la seca, lo que resulto consistente con los menores valores de energía de los forrajes durante esa estación.

CUADRO 7. VALORES DE EXCESO DE PROTEINA E **INGESTION** LENTA PARA LAS RESTRICCIONES **NUTRICIONALES**, COMO UN PORCENTAJE DE LOS REQUERIMIENTOS O LIMITES EN FUNCION DE ALGUNAS VARIABLES

ESTACION, LIMITANTE NUTRICIONAL Y CLASE DE ANIMALES	ESTRATEGIA DE MANEJO NUTRICIONAL				
	BASE ^a	CO ^b	AA ^c	SPT ^d	SF ^e
-----% de requerimientos o límites -----					
ESTACION LLUVIOSA					
Requerimientos de proteína					
Vacas					
0- 90 días	0.0	2.7	12.6	12.6	12.6
91-270 días	0.3	0.0	15.7	19.1	15.7
secas	7.1	8.1	0.0	0.0	0.0
Vaquillas					
1-2 años	21.2	21.2	34.3	33.8	34.3
2-3 años	40.0	28.9	40.1	31.6	43.8
Novillos, 1-4 años ^f	24.2	21.1	23.3	23.3	23.3
Becerro, 0-1 año	30.0	29.0	24.4	25.2	24.5
Límites de ingestión de FDN					
Vacas					
0- 90 días	0.0	26.8	46.3	46.3	46.3
91-270 días	0.0	27.9	16.4	27.7	16.4
secas	12.8	20.4	24.1	24.1	24.1
Vaquillas					
1-2 años	1.8	1.8	4.0	3.8	4.0
2-3 años	53.9	35.9	65.3	39.6	69.0
Novillos, 1-4 años	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Becerro, 0-1 año	13.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Límites de ingestión de MS					
Vacas					
0- 90 días	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
91-270 días	0.0	10.3	0.0	3.2	0.0
Secas	12.1	22.3	19.0	19.0	19.0
Vaquillas					
1-2 años	k	k	k	k	k
2-3 años	10.6	0.0	10.3	0.0	15.2
Novillos, 1-4 años	k	k	k	k	k
Becerro. 0-1 año	16.1	5.9	3.6	3.0	3.5

CUADRO 7. CONTINUACION.

ESTACION, LIMITANTE NUTRICIONAL Y CLASE DE ANIMALES	ESTRATEGIA DE MANEJO NUTRICIONAL				
	BASE ^a	CO ^b	AA ^c	SPT ^d	S F
----- % de requerimientos o limites -----					
ESTACION SECA					
Requerimientos de proteína					
Vacas					
0-90 días	00.0	00.0	00.0	00.0	11.6
91-270 días	00.0	00.0	00.0	2.3	00.0
secas	3.5	22.7	20.6	23.2	6.7
Vaquillas					
1-2 años	42.1	42.1	42.8	42.8	23.8
2-3 años	37.4	38.0	39.9	39.9	43.5
Novillos, 1-4 años ^f	56.4	41.5	39.9	39.9	25.3
Becerras, 0-1 año	40.1	40.1	40.6	40.6	28.6
Límites de ingestión de FDN					
Vacas					
0-90 días	2.6	00.0	00.0	25.4	46.3
91-270 días	5.6	00.0	00.0	00.0	17.7
secas	21.7	21.1	22.3	20.7	21.6
Vaquillas					
1-2 años	9.8	9.8	9.2	9.2	2.2
2-3 años	23.1	23.1	24.0	24.0	67.7
Novillos, 1-4 años	8.5	8.5	8.6	8.6	00.0
Becerra, 0-1 año	00.0	00.0	00.0	00.0	4.3
Límites de ingestión de MS					
Vacas					
0-90 días	00.0	00.0	00.0	00.0	00.0
91-270 días	00.0	2.5	1.2	4.7	4.6
secas	17.4	16.8	18.1	16.4	21.4
Vaquillas					
1-2 años	*	*	*	*	*
2-3 años	00.0	00.0	00.0	00.0	13.1
Novillos, 0-4 años	*	*	*	*	*
Becerras, 0-1 año	8.2	8.2	7.6	7.6	00.0

^a Dieta base

^b Dieta con uso óptimo de concentrado como suplemento

^c Dieta con uso de alimentos alternos

^d Dieta con uso de alimentos alternos, sin movilizar proteína tisular

^e Dieta con uso de alimentos alternos, sin fertilización de forraje

^f Para calcular costos de alimento se agruparon machos y hembras de la misma edad

* No hay restricciones en CMS porque se supuso que la ingestión de FDN estaba limitada en las dietas en que sólo se consumía forraje.

En todas las estrategias de manejo, excepto en la base, existió capacidad adicional para ingerir FDN en todos los **grupos** animales, excepto **para** los novillos y becerros. Cada **alternativa** al manejo base demostró un **patrón similar** de capacidad de ingestión de FDN excedente en la estación lluviosa, aunque la FDN fue más **limitante** para las vacas en lactación durante la estación seca. Por tanto, aunque el alto contenido de FDN de los forrajes **tropicales** juega un papel limitante en el desempeño **animal** y en la rentabilidad de los ranchos en los sistemas de doble propósito, las limitantes en la ingestión de FDN no deben, en general, ser consideradas independientes de las limitantes de energía y de ingestión de MS.

La capacidad para un CMS adicional fue en **general** inferior que la capacidad para la ingestión de FDN adicional, en los grupos de animales en los que se especificaron ambas restricciones. Las vacas lactantes tuvieron por lo **común** una **mínima** habilidad para aumentar su CMS, pero las vacas secas tuvieron una capacidad para un CMS adicional. En concordancia con la mayor **suplementación** de las vacas en la **época lluviosa**, hubo más exceso de capacidad de CMS en la estación lluviosa.

Precios sombra de las **restricciones nutricionales**

Los precios sombra para las restricciones de energía indican que el margen neto cambia cuando la EM por período para cada grupo de animales **se** reduce en 1 Mcal. Estos precios sombra estuvieron entre US\$ 0.018 y US\$ 0.056 para todos los grupos de animales. lo que concuerda con los costos por unidad de energía de los forrajes y alimenios, que estuvieron en un rango (excepto la leche) de US\$ 0,017 a US\$ 0.034 (Cuadro 2). Este hallazgo implica que el costo marginal de incrementar la disponibilidad de energía total en una Mcal de EM estuvo entre US\$ 0.018 y US\$ 0.056.

Los precios sombra fueron más pequeños en la estación seca, lo que concuerda con un mayor uso de la energía de menor costo en los forrajes. Los precios sombra también proveyeron una medida del costo de los errores en la estimación de los requerimientos animales. Si los **requerimientos** de EM predichos eran demasiado altos, los productores perderían entre US\$ 0.018 y US\$ 0.056 en el margen para cada exceso (o déficit) por unidad de energía.

Evaluación económica de las estrategias de manejo nutricional

El margen neto del hato es un criterio **importante** para evaluar las estrategias alternas de manejo nutricional, porque los productores rechazarán las practicas que tengan demasiadas probabilidades de no ser rentables. Para las cinco estrategias alternas, se calcularon los costos variables anuales, los retornos y el margen neto, usando los precios de 1987 y 1988 (Cuadro 8).

Debido a una mayor suplementación, los costos variables **se** incrementaron en todas las estrategias alternativas en comparación con el manejo base. El costo del **alimento** como un porcentaje de los costos variables aumentó en relación con la estrategia base para las estrategias

de manejo CO y SF (47.6 y 41.5 % respectivamente). Sin embargo, a pesar de que los costos variables fueron mayores que para la estrategia base, los costos de alimentación representaron un porcentaje muy pequeño de los costos variables en la estrategia AA.

CUADRO 8. RESUMEN ECONOMICO DE COSTOS VARIABLES, RETORNOS POR RANCHO Y MARGEN NETO POR HATO PARA ESTRATEGIAS DE MANEJO NUTRICIONAL (US\$/AÑO).

MEDIDA ECONOMICA	BASE ^a	CO ^b	AA ^c	SPT ^d	S F
Costos variables, Miles US\$	081.1	107.9	088.7	089.5	095.1
Costos de alimentación, % de costos variables	038.9	047.6	038.1	038.7	041.5
Retornos, Miles US\$	204.9	234.5	232.6	232.6	232.2
Leche, %	068.2	068.2	066.3	066.3	66.8
Ventas de animales, %	031.8	031.8	033.7	033.7	33.2
Vacas ordeñadas, %	011.2	011.2	010.8	010.8	10.8
Otras, %	020.6	020.6	022.9	022.9	22.4
Margen Neto, miles US\$	123.8	126.6	143.8	143.0	137.1
Cambio de la base, %	002.3	016.2	015.6	010.7	
Margen neto/vaca	235.0	210.0	248.0	246.0	235.0
Cambio de la base, %	-10.6	005.5	004.7	000.0	

^a Dieta base

^b Dieta con uso óptimo de concentrado como suplemento

^c Dieta con uso de alimentos alternos

^d Dieta con uso de alimentos alternos, sin movilización de proteína tisular

^e Dieta con uso de alimentos alternos, sin fertilización de forraje

La proporción de los retornos por las ventas de leche y carne permanecieron constantes a través de las estrategias de manejo. Si bien los cambios en los porcentajes de leche y retornos por animal fueron inferiores al 2 % del total de retornos para todas las estrategias, ello indica que las estrategias de manejo nutricional afectan la estructura óptima del hato, y por tanto la composición de las salidas para los hatos de doble propósito.

El margen neto **total del hato** se **incrementó** de **2.3** a **16.2 %** utilizando estrategias de **manejo** diferentes a la **base**. Por tanto, probablemente el manejo **base** no estaba **maximizando** la **rentabilidad** del rancho, pero las **intervenciones** en el manejo nutricional tienen el potencial de incrementar el retorno neto de los productores de doble propósito, como aquellos incluidos **en** la muestra en el occidente de Venezuela. El incremento **en** el margen neto del hato fue inferior **para la** estrategia **CO** y fue mayor para la estrategia **AA**. El ignorar la **movilización** de **proteína tisular** disminuyó el margen neto del hato **en** menos de **1 %**, **en comparación** con la **formulación** del modelo **AA** incluida. La estrategia **SF** incrementó el margen neto del hato en **2.7 %** en comparación con la base, y el **5.5 %** de retorno adicional de la estrategia **AA** sobre la **SF** implican incentivos económicos para **fertilizar** las praderas.

CONCLUSIONES

El modelo **PL multiperódico** incorpora tanto mejoras **metodológicas** como mayores detalles que en estudios previos de **los** sistemas de producción de ganado de doble propósito. De conformidad con una de las hipótesis, el modelo **PL** indica que el manejo **nutricional interactúa** con la intensidad de uso de la tierra y con la composición del hato. La mejora en el manejo nutricional, que implica un **aumento** en la **concentración** de energía en las dietas de **vacas lactantes**, permitió mayores ingresos de **carne** y leche por unidad de superficie en los ranchos con un inventario **animal más** grande. Un mayor tamaño de hato significó que el recurso tierra (forraje) estuvo más explotado para la producción de leche y **carne**.

También se identificaron las **interacciones** entre el manejo nutricional, la producción de **leche** y la tasa de recambio de tejido corporal. La tasa de recambio del tejido adiposo fue una parte integral en las estrategias óptimas de manejo nutricional. Se necesita mayor investigación acerca de la dinámica de la **proteína tisular** en los sistemas de doble **propósito**, lo que parece ser **parte** de un manejo nutricional **óptimo**.

Las estrategias de manejo nutricional alterno examinadas en este estudio tienen el potencial para mejorar la productividad y la rentabilidad de los ranchos de ganado de doble propósito en Venezuela. Para el escenario económico considerado, el mayor potencial provino de un aumento en la suplementación para vacas lecheras y de suplementar con **melazas** y **urea** más que con un concentrado comercial. La suplementación con **melazas** y **urea** **hizo** menos restrictivas las **limitantes** energéticas, ya que **éstas** son la principal limitante en la productividad de la tierra y del ganado en América Latina.

Un incremento en el margen neto del hato bajo las estrategias de manejo alterno en comparación con el manejo base, resultó parcialmente de un mayor tamaño del hato. Sin embargo, los cambios en el manejo **nutricional** de un tamaño de hato fijo, probablemente conduzcan a mayores ganancias para los hatos de doble **propósito**.

En este estudio a nivel de rancho, las interacciones entre el manejo nutricional y la dinámica de tejido corporal sugieren la necesidad de realizar en el futuro, investigación a nivel del animal, especialmente para confirmar las predicciones del modelo PL en la producción láctea usando dietas suplementadas con melazas y urea. Los ensayos a nivel de rancho para verificar las interacciones entre el manejo nutricional, el uso de la tierra y la composición del hato requerirán sustanciales recursos para investigación, pero quizás se pueden intentar con un diseño experimental para una investigación en pequeña escala. Si se reconoce que el alterar las prácticas de manejo nutricional podría incrementar la complejidad del manejo en los ranchos de doble propósito, las alternativas identificadas son consistentes con un uso sostenible de la tierra y son factibles de implementarse, al menos por una parte sustancial de los productores.

Implicaciones

Las interacciones entre el manejo nutricional, el tamaño y composición del hato y el uso del recurso pastizal parecen ser determinantes importantes en la productividad y rentabilidad del hato en los sistemas de ganado de doble propósito. Las relaciones entre el manejo nutricional, la producción de leche y la dinámica óptima del tejido corporal para vacas en lactación también afectan la productividad y la rentabilidad del sistema. Por tanto, estas interacciones afectan la intensidad del uso regional de la tierra y la producción total de carne y leche de los sistemas pecuarios que proporcionan la mayoría de la leche que se produce en América Latina. El modelo de programación lineal que se desarrolló en este estudio proporciona una estructura para el análisis de estas interacciones en Venezuela y en otras regiones de América Latina.

LITERATURA CITADA

- ABDALLA, H.O., FOX, D.G. and SEANEY, R.R., 1988. Variation in protein and fiber fractions in pasture during the grazing season. *J. Anim. Sci.* 66: 2663.
- ARROYO-AGUILU, J. A., TESSEMA, S., MCDOWELL, R.E., VAN SOEST, P.J., RAMIREZ, A. and RANDELL, P.F., 1975. Chemical composition and *in vitro* digestibility of five heavily fertilized tropical grasses in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. Puerto Rico* 59: 186.
- BLACK, J.R., and HLUBIK, J., 1980. Basics of computerized linear programs for ration formulation. *J. Dairy Sci.* 63: 1366.
- BOTTS, R. L., HEMKEN, R.W. and BULL, L.S., 1979. Protein reserves in the lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 62: 433.

- CAMPBELL, J.R., and MARSHALL, R.T., 1975. The science of providing milk for man. McGraw-Hill Publishing Company, New York. p. 234.
- COMBELLAS, J. y GONZALEZ, E., 1972. Rendimiento y valor nutritivo de forrajes tropicales. 3. *Panicum maximum* var. Trichoglume. **Agronomía Tropical** 22: 635.
- COMBELLAS, J. y GONZALEZ, E., 1973a. Rendimiento y valor nutritivo de forrajes tropicales. 4. Pasto alemán (*Echinochloa polystachya* (H.B.K. Hitchc.). **Agronomía Tropical** 23: 279.
- COMBELLAS, J. y GONZALEZ, E., 1973b. Rendimiento y valor nutritivo de forrajes tropicales. 5. Pasto Pará (*Brachiaria mutica* stapf). **Agronomía Tropical** 23: 269.
- COMBELLAS, J., E. GONZALEZ y PARRA, R., 1971. Composición y valor nutritivo de forrajes producidos en el trópico. I. Digestibilidad aparente y verdadera de las fracciones químicas. **Agronomía Tropical** 21: 483.
- COMBELLAS, J., E. GONZALEZ y PARRA, R., 1972. Composición y valor de forrajes producidos en el trópico. 3. Consumo y digestibilidad de la materia sea. **Agronomía Tropical** 22: 613.
- FOX, D.G., SNIFFEN, C.J., O'CONNOR, J.D., RUSSELL, J.B. and VAN SOEST, P.J., 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Cattle requirements and diet adequacy. **J. Anim. Sci.** 70: 3578.
- FRANCO, M.A., 1987. Prototipo de unidad familiar, Carimagua, Colombia, Centro **Internacional de Agricultura Tropical**. Cali, Colombia. (Mimeograph).
- GLEN, J.J., 1987. Mathematical models in farm planing: a survey. **Operation Research** 35: 641.
- GEORGE, P.D. 1984. A deterministic model of net nutrient requirements for the beef cow. Ph.D. Thesis, **Cornell University**, Ithaca, N.Y.
- HOLMANN, F.J., BLAKE, R.W., HAHN, M.V., BARKER, R., MILLIGAN, R.A., OLTENACU, P.A. and STANTON, T.L., 1990. Comparative profitability of straightbred and crossbred Holstein herds in Venezuela. **J. Dairy Sci.** 73: 2952.
- JACOBSON, N.L., and MCGILLIARD, A.D., 1984. The mammary gland and lactation. In: M. M. Swenson (Ed.) **Duke's Physiology of Domestic Animals**. Comstock Publishing, Ithaca, N.Y. p. 863.
- LONGE, O.G. 1978. Carbohydrate constituents of different cassava varieties grown in Nigeria. **J. Trop. Root Crops.** 4: 1.

- McDOWELL, R.E.** 1985. **Meeting constraints to intensive dairying in tropical areas.** Cornell International Agriculture Monograph 108. Cornell University, Ithaca, N. Y.
- MERTENS, D.R.** 1973. **Application of theoretical models to cell wall digestion and forage intake.** Ph.D. Thesis. Cornell University, Ithaca, N.Y.
- MERTENS, D.R.** 1985. **Factors influencing feed intake in lactating dairy cows: From theory to application using FDN.** In: Proc. Georgia Nutr. Conf., University of Georgia, Athens, GA.
- MUGERWA, J. S. and CONRAD, H.R.,** 1971. **Relationship of dietary non-protein nitrogen to urea kinetics in dairy cows.** J. of Nutrition 101: 1331.
- MOE, P.W., TYRRELL, H.F. and FLATT, W.P.,** 1971. **Energetics of body tissue mobilization.** J. Dairy Sci. 54: 548.
- NRC,** 1988. **Nutrient Requirements of Dairy Cattle (6th Ed).** National Academy Press, Washington, D.C.
- NEIDHARDT, R., PLASSE, D., WENIGER, J H., VERDE, O., BELTRAN, J. and BENAVIDES, A.,** 1979. **Milk yield of Brahman cows in a tropical beef production system.** J. Anim. Sci, 48: 1.
- NICHOLSON, C.F.,** 1990. **An optimization model of dual purpose cattle production in the humid lowland of Venezuela.** M.S. Thesis. Cornell University, Ithaca, N.Y.
- NOVOA, L.G. and RODRIGUEZ-CARRASQUEL, S.,** 1972. **Estudio del comportamiento de los pastos Pará (*Brachiaria mutica stapf*) y Alemán (*Echinochloa polystachya A.B. K. Hirche*).** Agronomía Tropical 22: 643.
- O'CONNOR, J.D., SNIFFEN, C.J. and FOX, D.G.,** 1988. **A manual for using the Cornell Net Carbohydrate and Protein System for Evaluating Cattle Diets.** Cornell University, Ithaca, N.Y. (Mimeogr.).
- PLASSE, D.,** 1979. **Aspectos de crecimiento del *Bos indicus* en el trópico americano (segunda parte).** World Rev. Anim. Prod. 15: 21.
- RAMIREZ, C.A.,** 1987. **¿Cómo calcular el costo de producción de un litro de leche?.** ASOGAL. 19: 36.
- REID, R.L., JUNG, G.A. and THAYNE, W. V.,** 1988. **Relationships between nutritive quality and fiber components of cool season and warm season forages: a retrospective study.** J. Anim. Sci. 66: 1275.

- REYES, A.A., BLAKE, R.W., SHUMWAY, C.R. and LONG, J.T., 1981. Multistage optimization for dairy production. J. Dairy Sci. 64: 2003.**
- RUSSELL, J.B., O'CONNOR, J.D., FOX, D.G., VAN SOEST, P.J. and SNIFFEN, C.J., 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. J. Anim. Sci. 70: 3551.**
- SERE, C. and VACCARO, L. de, 1985. Milk production from dual purpose systems in tropical Latin America. In: Milk Production in Developing Countries, A. J. Smith (Ed.). Centre for Tropical Veterinary Medicine, University of Edinburgh, Edinburgh. p. 459.**
- SNIFFEN, C. J., O'CONNOR, J.D., VAN SOEST, P.J., FOX, D.G. and RUSSELL, J.B. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II: Carbohydrate and protein availability. J. Anim. Sci. 70: 3562.**
- SOTOMAYOR-RIOS, A., ACOSTA-MATIENZO, A. and VELEZ-FORTUÑO, J., 1973. Evaluation of seven forage grasses at two cutting Stages. J. Agric. Univ. Puerto Rico. 57: 173.**
- SOTOMAYOR-RICS, A., JULIA, F.J. and ARROYO-AGUILU, J.A., 1974. Effects of harvest intervals on the yield and composition of 10 forage grasses. J. Agric. Univ. Puerto Rico. 58: 448.**
- THORNTON, P.K., 1987. A beef production model for the savannas of Colombia: model description and user notes. International Center for Tropical Agriculture. Cali, Colombia. (Mimeogr.).**
- TOWNSEND, P.W., BLAKE, R.W., HOLMANN, F.J., VAN SOEST, P.J., SNIFFEN, C.J. and SISLER, D.G., 1990. Low costs feeding strategies for dual purpose cattle in Venezuela. J. Dairy Sci. 73: 792.**
- URBINA, C. I., 1991. Optimal nutrition management and growth strategies for dual purpose cows in Venezuela and Costa Rica. M. S. Thesis. Cornell University. Ithaca, N.Y.**
- VALLE, A., 1980. Importancia del porcentaje de pelaje negro en animales Holstein sobre el proceso adaptivo. I. Crecimiento ponderal hasta 18 meses. Agronomía Tropical 30: 159.**
- VOLLMER, F. J., 1988. The venezuelan cattle industry: An economic analysis of its structure, performance, and policies (1980-87). M.P.S. Project Report. Cornell University. Ithaca, N.Y.**
- WILLIAMS, C.B., OLTENACU, P.A. and SNIFFEN, C.J., 1989. Application of neutral detergent fiber in modeling feed intake, lactation response, and body weight changes in dairy cattle. J. Dairy Sci. 72: 652.**