

## Análisis y Comentario

## EVALUACION BIECONOMICA DE UN SISTEMA DE PRODUCCION DE LECHE BASADO EN EL USO INTENSIVO DE GRAMINEAS FERTILIZADAS, EN EL TROPICO HUMEDO DE COSTA RICA<sup>1</sup>

Danilo A. Pezo<sup>2/\*</sup>, Federico Holmann<sup>\*\*</sup>, José Arze<sup>\*\*\*</sup>

## RESUMEN

Un prototipo de producción de leche, basado en el uso intensivo de praderas de estrella africana fertilizadas con N (250 kg N/ha/año), y pastoreadas en rotación por vacas del cruce Criollo Lechero x Jersey bajo el sistema "líderes-seguidoras", se estableció en Turrialba (Costa Rica) y se monitoreó durante 13 años. A pesar de que con el tiempo se detectaron algunos síntomas de degradación de pasturas (como una disminución de la tasa de crecimiento del pasto, de 61.3 a 41.6 kg MS/ha/día, y del aporte de estrella africana a la biomasa total, de 60 a 32%, del año 1 al 13, respectivamente), no hubo efectos perjudiciales sobre la productividad lechera. La producción de leche por vaca varió de 1945 a 2783 kg/lactancia, pero gracias a la alta carga animal (6.67±0.77 vacas/ha) la productividad lechera fue de un promedio de 11798±1669 kg/ha/año. El intervalo entre partos promedio (395±27 días) fue aceptable para condiciones tropicales; sin embargo, el atraso en la edad al primer parto (39.3±3.9 meses) constituyó la mayor debilidad del sistema. El sistema resultó biológicamente factible, y además económicamente viable, dado que la relación Costo/Beneficio fue de 1.29 y su Tasa Interna de Retorno casi duplicó el Costo de Oportunidad de Capital (20.9 vs 10%, respectivamente). Los costos de producción fluctuaron

## ABSTRACT

**Biological evaluation of a milk production system based on the intensive use of fertilized grasses, in the Humid Tropics of Costa Rica.** A milk production prototype, based on the intensive use of nitrogen (250 kg N/ha/year) fertilized African star grass pastures, rotationally grazed by crossbred (Dairy Criollo x Jersey) cows, in a "leader-follower" system, was established in Turrialba (Costa Rica), and monitored for 13 years. Even though some pasture degradation symptoms were detected with time (e.g., pasture growth rate declined from 61.3 to 41.6 kg DM/ha/day and African star grass contribution to total biomass decreased from 60 to 32%, for years 1 to 13, respectively), no clear detrimental effects were detected in milk productivity. Milk production per cow varied from 1945 to 2783 kg FCM/lactation, but due to the high stocking rate (6.67±0.77 cows/ha) applied, milk productivity was in average 11798±1669 kg/ha/year. Average calving interval (395±27 days) was acceptable, according to tropical standards; however, the main handicap of the system was the delay in first calving (39.3±3.9 months). The system was biologically feasible, yet also economically viable, since the accumulated Benefit/Cost ratio was 1.29 and its Internal Revenue Rate almost doubled the Money Opportunity Cost (20.9 vs. 10%, respectively). Milk production

1/ Recibido para publicación el 24 de abril de 1998.

2/ Autor para correspondencia.

\* Profesor TP de Forrajes, Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

\*\* Economista. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

\*\*\* Investigador en Sistemas de Producción. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

entre US\$0.13 y 0.26/kg de leche, equivalente a 41-89% del precio del mercado interno, y en varios años estuvieron aún por debajo del precio internacional (US\$0.20/kg).

## INTRODUCCION

En los últimos 25 años, la producción de leche en América Tropical ha mostrado una tasa de incremento anual de un 3.2%, la cual ha respondido no sólo a aumentos en el número de vacas (2.3%/año) y eventualmente en el área dedicada a la actividad lechera, sino también a mejoras en el nivel productivo de las mismas (0.9% anual). Pese a ello, la producción de leche no ha crecido al ritmo de los incrementos en la demanda de la población, por lo que en las 2 últimas décadas ha disminuido el nivel de autosuficiencia de leche, y la región continúa como importadora neta de productos lácteos (Riesco 1992). Costa Rica es una excepción en este patrón, pues desde 1988 ha generado excedentes, los cuales se han estado exportando como leche ultra-pasteurizada, a precios favorables (US\$0.65/kg), pero esta situación difícilmente subsistirá bajo una apertura de los mercados (Holmann et al. 1995).

El crecimiento de los sistemas de producción de leche en América Tropical, ha significado no sólo el establecimiento de nuevas explotaciones, sino también el desplazamiento de parte de las lecherías de altura hacia las áreas bajas del trópico húmedo y sub-húmedo (Fernández Baca 1992), donde hay un mayor potencial de producción de biomasa forrajera. Bajo esas condiciones, cualquier estrategia de intensificación para incrementar la productividad y competitividad de los sistemas de producción de leche, deberá basarse en el uso eficiente de los forrajes (Pezo et al. 1992).

Así, la intensificación de dichos sistemas constituye también una respuesta positiva a la preocupación creciente por el deterioro ambiental asociado con los sistemas ganaderos tradicionales, pues ello permite no sólo reducir la presión sobre el bosque remanente, sino que también contribuye a disminuir la emisión de gases

costs ranged between US\$0.13-0.26/kg, accounting for 41 to 89% of the internal market price, but in several years were even below the international market price (US\$0.20/kg).

responsables del "efecto invernadero" (Pezo 1996). Adicionalmente, puede facilitar que se reforesten áreas hoy utilizadas en sistemas extensivos, sin que ello vaya a afectar significativamente la oferta de productos pecuarios.

La fertilización con N es una de las opciones para la intensificación de la producción forrajera en sistemas ganaderos; pero mucha de la información disponible en el trópico sobre el potencial de producción de leche en praderas de gramíneas fertilizadas proviene de ensayos con una duración no mayor de 3-5 años (Colman y Kaiser 1974, De la Torre et al. 1978, Davison et al. 1985, Jerez et al. 1986, Teitzel et al. 1991, Cowan et al. 1993).

A diferencia de dichos estudios, en el presente se analiza la información colectada en el Módulo Lechero del CATIE, una unidad productiva de tipo experimental diseñada para responder a las condiciones prevalentes en el trópico húmedo bajo, basada en el uso intensivo de praderas de Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*) fertilizadas. A esta unidad se le hizo un seguimiento por un lapso de 13 años, en los cuales prácticamente no sufrió cambios importantes en su estructura y función. Esto hace de la información colectada un elemento casi único para el análisis del potencial de sostenibilidad en este tipo de sistemas de producción animal.

## EL MODULO LECHERO DEL CATIE

### Ubicación

El Módulo Lechero se desarrolló en la Estación Experimental Ganadera del CATIE, localizada en Turrialba (Costa Rica) a 9° 53' latitud norte y 83° 38' de longitud oeste, y a una altitud de 602 msnm. La temperatura media anual es 22.1°C, la humedad

relativa es en promedio 90.4% y la precipitación anual es de 2599 mm, más o menos bien distribuidos a lo largo del año. Según la clasificación de Holdridge (1978), Turrialba corresponde a la zona de vida Bosque Muy Húmedo Pre-Montano.

### Bases conceptuales

El Módulo Lechero se concibió como un "modelo físico" o prototipo de un sistema de lechería especializada, con posibilidad de adaptarse a la situación social y económica de los productores que poseen recursos limitados, ya que el mismo requería de una pequeña extensión de tierra y buscaba maximizar la utilización de la mano de obra familiar (Pezo et al. 1993).

Desde el punto de vista biológico, el modelo reconocía que el trópico bajo tiene un gran potencial para la producción de biomasa forrajera, pero que la calidad nutritiva de la misma es limitada (Pezo et al. 1992); por consiguiente el mismo estuvo orientado a maximizar la producción animal por hectárea, utilizando una carga animal elevada, aún cuando ello redundaría en niveles relativamente modestos de producción por vaca.

Dentro de este contexto, el Módulo Lechero del CATIE constituyó un esfuerzo de síntesis de un sistema, con base en los resultados generados por la investigación en componentes, así como de las experiencias prácticas de un grupo de investigadores (Ruiz et al. 1980). Así, para el diseño del manejo de pasturas (Cubillos 1981) se tomaron como base diversos estudios sobre la respuesta del pasto Estrella a la fertilización nitrogenada, a la intensidad y a la frecuencia de defoliación (Ricardo 1973, Carrillo 1974, Gutiérrez 1974, Ramírez 1974, Zañartu 1975). El tipo de ganado se definió con base en los resultados obtenidos en el Programa de Cruzamientos y Selección que se había implementado en el hato lechero del IICA en Turrialba (Costa Rica) por un período de 25-30 años (Alvarez 1975). Para establecer el tipo y nivel de suplementación de las vacas lactantes, se consideró la información colectada en ensayos sobre la utilización de melaza de caña con fuentes proteicas tradicionales (Molina 1973) y con N no proteico (Ruiz et al. 1980).

### Elementos tecnológicos

**Manejo intensivo de una gramínea fertilizada.** La especie empleada fue pasto Estrella Africana (*Cynodon nlemfuensis*), fertilizada con 250 kg de N/ha/año, aplicados como nitrato de amonio, en forma fraccionada después de cada pastoreo. En algunos años se hicieron 2 aplicaciones de fórmula completa, pero ésta práctica no tuvo la regularidad de la fertilización nitrogenada.

El sistema de pastoreo empleado fue el "rotacional en línea", con un día de ocupación por las vacas en producción (grupo de líderes) y otro por las vacas secas y novillas de reemplazo (grupo de seguidoras). A partir de 1983, en el grupo de líderes se incluyó a las terneras menores de 5 meses de edad. El largo del período de descanso varió de 21 a 24 días, y la carga sostenida por las pasturas fue equivalente a  $6.67 \pm 0.77$  vacas/ha (aproximadamente 5.0 UA/ha, unidad animal (UA)=bovino de 400 kg de peso).

**Uso de un genotipo lechero adaptado al trópico.** Inicialmente se trabajó con los productos de un esquema de cruzamiento rotacional de 3 razas: Criollo Lechero Centroamericano, Jersey y Ayrshire; pero a partir de 1983 éste se simplificó a un cruzamiento alterno, utilizando sólo las 2 primeras razas.

**Manejo especializado de la lechería.** Los machos se sacrificaron durante los primeros 5 días después del nacimiento, criándose sólo las hembras de reemplazo. Las terneras se manejaron dentro de un esquema de "crianza artificial" y destete precoz (2 meses), con un mínimo de leche (180 kg/animal) y un concentrado iniciador. El ordeño de las vacas fue mecánico, 2 veces/día y sin apoyo del ternero.

**Uso mínimo de alimentos concentrados.** Las vacas en ordeño se suplementaron con 2.0 kg de melaza/día, la cual fue fraccionada en partes iguales ofrecidas durante cada ordeño. Hasta 1985, la melaza ofrecida a las vacas en ordeño incluía además urea (30 g/kg). Por otra parte, las terneras de reemplazo menores de un año recibían un concentrado con 24% de PC, hasta un máximo de 1.0 kg/animal, a 5 meses de edad y de 2 kg/animal/día al año de edad (González 1991). Hembras mayores de un año

y hasta el primer parto no recibieron ningún suplemento energético-proteico. Todos los animales tuvieron libre acceso a un suplemento mineral constituido por una mezcla de sal común y harina de huesos (2:1) y al agua.

**Inversión mínima en infraestructura y equipo.** Para el mantenimiento de 22 vacas adultas más las hembras de reemplazo, se disponía de un área total de 4.5 ha, la mayor parte de ellas (4.21 ha) sembradas de pasto Estrella. El área en cementada era de 180 m<sup>2</sup>; y en ella se ubicaba la sala de ordeño (143 m<sup>2</sup>), la cual no tenía paredes, pero sí un techo a 2 aguas. La sala de ordeño incluía un sistema de "brete pasante" con 2 puestos, y una ordeñadora mecánica con doble juego de pezoneras. La cerca perimetral era elástica ("tipo australiano"), con alambre liso, mientras que las divisiones internas eran con cerca eléctrica.

**Uso intensivo de la mano de obra.** Un solo trabajador estuvo encargado de todas las labores de manejo, las cuales incluían el ordeño y limpieza de equipo, alimentación de las terneras, higiene de las cunas y sala de ordeño, provisión de suplementos, control de malezas, fertilización, mantenimiento de cercas, etc.

## PARAMETROS BIOLÓGICOS

### Componente pasto

Durante todo el ciclo de operación del Módulo Lechero CATIE (1976-1991) hubo monitoreo de las variaciones en los parámetros evaluados en los animales y de los indicadores económicos de la unidad, pero sólo en 1977 (Rocha 1978) y en 1990 (Matus, datos no publicados, González 1991) se efectuaron análisis detallados de los atributos de la pastura. Aún cuando en ambos períodos no se utilizaron los mismos métodos para la evaluación de las pasturas, se acepta que estos ilustran una tendencia de cambio que es consistente para los diversos parámetros evaluados. Además, para eliminar el posible efecto de la época del año en que se efectuaron las evaluaciones, en el Cuadro 1 sólo se incluyen los promedios obtenidos

para el período comprendido entre junio y diciembre, en que coincidieron ambos trabajos.

En el período bajo evaluación se detectó un deterioro en las pasturas del Módulo Lechero, que se manifestó tanto en la declinación de la contribución del pasto Estrella a la fitomasa disponible, como en la disminución del potencial de producción de la pradera (Cuadro 1). Aún cuando durante todo ese período no falló la aplicación del equivalente a 250 kg N/ha/año, la gramínea sembrada (pasto Estrella) tendió a ser reemplazada por el "complejo de pasto natural" (constituido mayormente por *Axonopus compressus* y *Homolepis aturensis*, pero también con cierta presencia de *Paspalum fasciculatum* y *Cyperus* spp. en las áreas más húmedas), y malezas (50.6 y 17.2% de la biomasa disponible, respectivamente). Pero, como el pasto natural no posee el mismo potencial de respuesta a la fertilización que el pasto Estrella Africana (Pezo et al. 1992), la pastura tendió a acumular más N en el tejido, como lo sugieren los mayores contenidos de proteína cruda obtenidos para el forraje en oferta muestreado en 1990 (Cuadro 1).

El deterioro del potencial productivo de la pastura observado a lo largo de la operación del Módulo Lechero, parece reforzar la propuesta de Humphreys (1991), que aún cuando se trabaje con pasturas fuertemente fertilizadas con N, se debe aplicar un manejo más conservador del pastoreo —quizás cargas más bajas que las empleadas en esta unidad— pues la relación positiva entre carga y nivel de N aplicado (sin otros nutrientes incluidos), generalmente se quiebra a cargas altas, resultando en el mediano plazo en la degradación de la pastura que le da sustento.

La disminución en la disponibilidad de fitomasa forrajera —quizás acompañada de una menor densidad de la misma— que se observó en el último año en que se evaluó la pastura, afectó negativamente el consumo de pasto (Laca et al. 1992) y probablemente la selectividad ejercida por los animales (Gordon y Lascano 1993). Esto, aunado a una menor digestibilidad del forraje en oferta, y por consiguiente un menor valor energético del forraje cosechado, incidieron en una disminución de 1.34 kg en la producción diaria de leche por vaca (Cuadro 1).

En el trabajo de González (1991) se hizo además un análisis detallado de la contribución

porcentual de las diferentes porciones de la planta de pasto estrella a la biomasa presente en diferentes momentos del ciclo de uso de la pastura, así como de la calidad de cada una de estas porciones (Cuadro 2). La contribución de las hojas a la biomasa de pasto estrella presente en la pradera fue muy escasa (apenas 26%), incluso en la biomasa encontrada por el grupo que tuvo la primera oportunidad de selección ("líderes"); sin embargo, esto parece ser una característica de la especie (Cubillos 1981), al menos cuando esta sometida por varios años a defoliaciones intensas y frecuentes.

Adicionalmente, se observó una tendencia a que el forraje en oferta para el grupo de vacas líderes presente valores ligeramente más altos para el contenido de proteína (PC) y la digestibilidad (DIVMS), comparado con el encontrado por las "seguidoras" (Cuadro 2). No cabe duda que las vacas en producción y terneras (grupo de "líderes") consumieron un forraje más rico en PC y DIVMS que el cosechado por vacas secas y novillas de reemplazo (grupo de "seguidoras"), ya que las primeras encontraron una mayor proporción de hojas, fracción que presenta una mayor calidad nutritiva y que

es consumida de manera preferente por los animales en pastoreo (González et al. 1996).

### Producción de leche

La producción diaria de leche varió a lo largo del año, observándose un incremento desde enero hasta junio, en que se alcanzó el valor máximo. Luego, la producción tendió a declinar, llegando a los niveles más bajos entre octubre y diciembre (Figura 1). Con frecuencia se acepta que existe una buena relación entre el nivel de precipitación, la tasa de crecimiento del pasto y la producción de leche; sin embargo, bajo las condiciones de Turrialba, si bien octubre es el mes más lluvioso, y en él se ha detectado una de las tasas de crecimiento del pasto más altas (González 1991), la producción de leche en ese mes fue de las más bajas. Varios factores pueden incidir sobre este comportamiento, entre ellos se puede citar que la calidad nutritiva de los componentes de la pastura es menor en ese mes que en otros períodos del año, pero además las vacas tienden a dedicar menos tiempo a pastorear, debido a la intensidad de la precipitación (Rocha 1978, Duarte 1991).

Cuadro 1. Cambios en algunos atributos de la interfase pasto/animal al cabo de 13 años de operación del Módulo Lechero del CATIE.

Atributo	1977 <sup>a</sup>	1990 <sup>b</sup>
Tasa de crecimiento, kg MS/ha/día	61.3	41.6
Pasto estrella en biomasa disponible, %	59.8	31.9
<b>Contenido de PC en pasto, %</b>		
* Oferta para vacas lactantes	10.8	11.6
* Oferta para vacas secas	9.5	10.4
<b>Digestibilidad de MS en pasto, %</b>		
* Oferta para vacas lactantes	56.7	53.3
* Oferta para vacas secas	52.2	48.4
Consumo, kg MS/100 kg PV/día	2.43	2.28
Producción de leche, kg/vaca/día	9.72	8.38

<sup>a</sup> Adaptado de Rocha (1978), <sup>b</sup> Adaptado de González (1991).

Cuadro 2. Composición botánica, contenido de proteína cruda y digestibilidad *in vitro*, de los componentes de pasto Estrella disponible en el Módulo Lechero del CATIE, luego de 13 años de operación (González 1990).

Atributo	Oferta líderes	Oferta seguidoras	Residuo seguidoras
<b>Composición botánica, % p/p</b>			
* Tallos	47 b <sup>1</sup>	151 a	48 a, b
* Hojas	26 a	21 b	23 b
* Material Inerte	27 a	27 a	28 a
<b>Proteína Cruda, %</b>			
* Tallos	7.4 a	6.5 a	6.7 a
* Hojas	17.0 a	16.3 a	17.0 a
* Material Inerte	6.8 a	6.3 a	6.3 a
<b>Digestibilidad de materia seca, %</b>			
* Tallos	53.3 a	50.7 b	48.4 c
* Hojas	55.6 a	55.4 a	54.0 a
* Material Inerte	29.2 a	28.1 a	30.0 a

<sup>1</sup> Medias con distinta letra en una misma hilera, difieren ( $p < 0.05$ ) según la Prueba de Duncan.

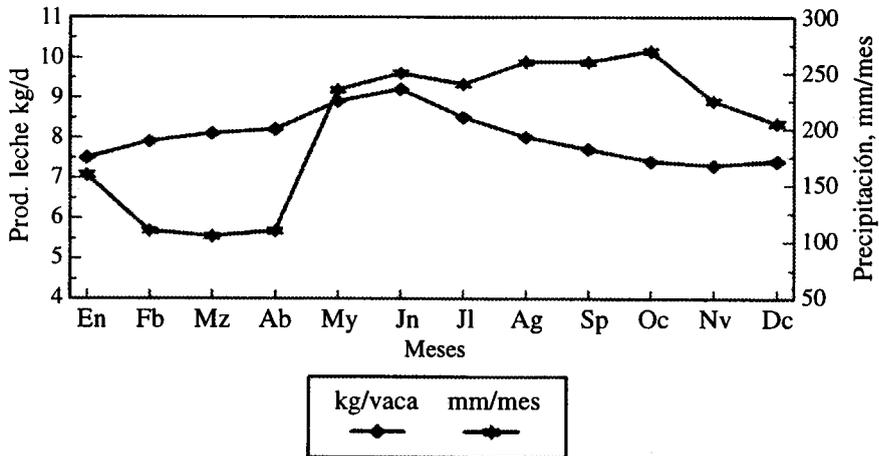


Fig. 1. Promedios de producción de leche y precipitación mensual obtenidos entre 1977 y 1990, en el Módulo Lechero del CATIE. (Duarte 1991).

La producción de leche ajustada a 305 días de lactancia y al 4% de grasa, varió a lo largo de los años entre 1945 y 2783 kg/lactancia (Figura 2). En 10 de los 12 años analizados por Duarte (1991), se superó la meta propuesta de 2200 kg leche/lactancia. Los límites máximo y mínimo obtenidos para este pará-

metro dan una idea de la variabilidad debida al efecto confundido de las variaciones climáticas entre años y de las modificaciones en el manejo a que estuvo sometida esa unidad, como consecuencia de cambios en personal profesional ocurridos mayormente entre 1982 y 1986.

Por otro lado, cuando Duarte (1991) analizó la productividad de leche del sistema (Figura 2), observó que esta varió entre 8462 y 14243 kg/ha/año, con un promedio de  $11789 \pm 1669$  kg/ha/año. La meta de 10700 kg/ha/año fue superada en 11 de los 13 años analizados. Los niveles de productividad alcanzados son superiores a muchos de los valores obtenidos experimentalmente para vacas lecheras que pastorean praderas de graminéas tropicales fertilizadas (Pezo et al. 1992, Cowan et al. 1993), con la diferencia que en este caso se refiere a un estudio de mucha mayor duración y tomando un prototipo que operaba comercialmente. En buena medida, el comportamiento manifestado por la productividad (kg de leche/ha/año) del sistema respondió al patrón mostrado por el parámetro producción/vaca/lactancia, ya que a lo largo de los años hubo relativamente poca variación en la carga animal ( $6.67 \pm 0.77$  UEV/ha) (UEV=Unidades Equivalentes Vaca Adulta para el Módulo de 350 kg de peso).

Si bien en los últimos años se detectó un fuerte deterioro del componente pastura (Cuadro 1), esto no pareció afectar la producción por vaca y la productividad por hectárea, pues estos parámetros siguieron manifestando un patrón "sostenible, aunque inestable" (Sánchez y Ara 1991). En sistemas altamente dependientes en concentrados, cuando se deteriora la pastura, es posible

mantener la productividad aumentando el nivel de sustitución de pasto por concentrado; pero, ese no fue el caso del prototipo bajo estudio, pues las vacas sólo recibieron melaza como suplemento, y el nivel de oferta tendió a mantenerse constante (2 kg/vaca/día) a lo largo de los años de operación de esta unidad.

Si se acepta que la "discontinuidad temporal" es un atributo de los sistemas de producción animal basados en pasturas (Hart y Sands 1995), es probable que se habrían manifestado los efectos detrimentales de la degradación de pasturas sobre la productividad lechera, y eventualmente sobre el recurso suelo, si es que el Módulo Lechero hubiera seguido en operación después de las evaluaciones efectuadas por Duarte (1991) y González (1991). Por ello, para prevenir los problemas de degradación de pasturas en este tipo de sistemas, se sugiere incluir un componente de rehabilitación de pasturas en ciclos de 5-8 años, el cual incorpore el tratamiento físico del suelo para aliviar la compactación, así como la aplicación de enmiendas, para superar problemas potenciales de acidificación debidos al uso intenso de fertilizantes nitrogenados (Vicente-Chandler et al. 1994), y la aplicación periódica de fórmula completa como fertilización de mantenimiento (Pezo et al. 1992).

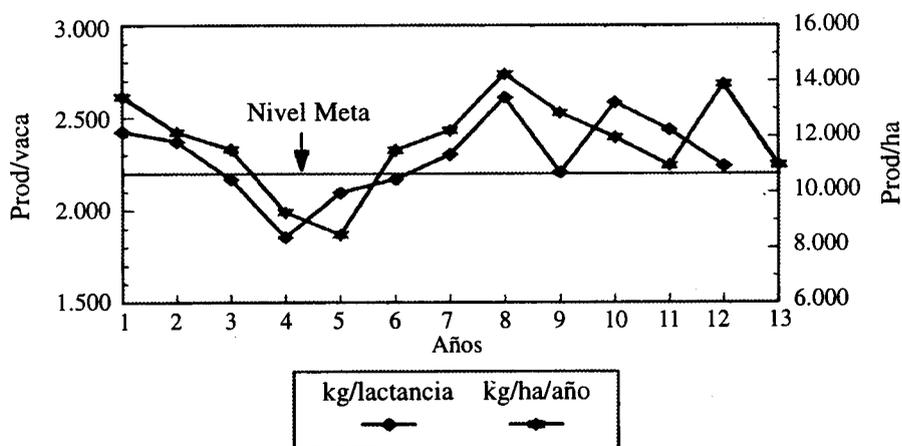


Fig. 2. Variación en la producción y productividad de leche, en el Módulo Lechero del CATIE, durante sus 13 años de operación. (Duarte 1991).

### Comportamiento reproductivo

El análisis de la dinámica del Módulo Lechero indica que la mayor debilidad del sistema está en la eficiencia reproductiva del mismo (Figura 3). El sistema de crianza de las hembras de reemplazo fue quizás su mayor limitante, pues un promedio de edad al primer parto (EPP) de  $39.3 \pm 3.9$  meses es considerado tardío para animales cruzados Criollo x Jersey (Galina y Arthur 1989a). Es obvio que la ausencia de suplementación energético-proteica después del año de edad, y el sólo pastoreo de Estrella Africana — con limitaciones en la oportunidad de selección, al formar parte del grupo de “seguidoras”—, no son suficientes para sostener una tasa de crecimiento que promueva un ingreso más temprano a la vida productiva.

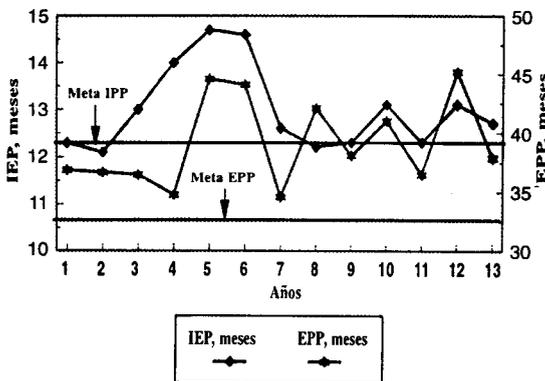


Fig. 3. Variaciones en el intervalo entre Partos (IEP) y la edad al Primer Parto (EPP), durante los 13 años de operación del Módulo Lechero del CATIE. (Duarte, 1991).

Por otro lado, el intervalo entre partos (IEP) fue en promedio de  $395 \pm 27$  días, y en 7 de los 12 años analizados por Duarte (1991) resultó más prolongado que la meta establecida de 376 días. Si bien el IEP obtenido está dentro del rango reportado como aceptable para los cruces de ganado Criollo x Europeo (Galina y Arthur 1989b), es posible que el sistema de alimentación de las vacas secas, basado sólo en el

pastoreo de los residuos dejados por las vacas en producción, haya incidido en que éstas no ingresen al parto en la mejor condición corporal, y por ende alarguen el período abierto (Martínez et al. 1996). Un factor adicional que puede haber afectado el IEP es la edad de las vacas en el hato, pues casi en todos los años de operación del Módulo, el promedio superó los 6 años (Duarte 1991).

### Mortalidad

En la mitad de los años de operación del Módulo Lechero del CATIE no se detectaron muertes de animales adultos; en 4 se superó el nivel del 3%, pero la tasa más alta de mortalidad de adultos detectada fue de 7.1%. En cambio, la mortalidad de terneras de reemplazo fue un problema importante en los primeros 3 años de operación, cuando superó el 35%; pero luego, el promedio anual se mantuvo por debajo del 10%; e incluso durante 6 años, no se detectaron muertes de terneras (Duarte 1991).

La alta mortalidad de terneras observada durante los primeros 3 años, fue atribuida a fuertes infestaciones parasitarias, resultantes de las altas cargas de huevos detectadas en los potreros dedicados exclusivamente a terneras. El control de la mortalidad de terneras fue posible en parte por el control de parásitos logrado a través del uso intensivo y frecuente de desparasitantes; pero a partir de 1983 esto fue coadyuvado por la modificación del sistema de pastoreo, lo que permitió que las terneras pastoreen conjuntamente con las vacas en producción, en el grupo denominado “de líderes”, diluyéndose de esta manera la carga parasitaria en las praderas.

### INDICADORES ECONOMICOS

A diferencia de muchos sistemas de producción de leche, en los cuales una proporción alta de los costos de inversión corresponden a instalaciones y equipo, el rubro más importante

en el caso del Módulo Lechero correspondió a la compra de los animales (81.8%); en cambio, la sala de ordeño sólo representó el 4.1%, la máquina ordeñadora el 3.9%, las cercas y los sistemas de distribución de agua y electricidad en los potreros representaron el 7.4% de la inversión. Debe anotarse que en el análisis no se consideró la compra de tierra, pues se asumió que el modelo operaba sobre una finca ya existente, y que si bien debía asignarse un valor de alquiler de la tierra, éste sólo se consideró para la estimación de la Tasa Interna de Retorno (Duarte 1991).

En el Cuadro 3 se muestran los ingresos y egresos durante los 13 años de operación del Módulo Lechero del CATIE, pero expresados en "colones constantes a 1990" (Duarte 1991). Tal como es de esperar para un sistema de lechería especializada, la venta de leche representó la principal fuente de ingresos (75 a 98%), y sólo en aquellos años en que hubo ventas importantes de vacas de descarte hace este rubro una contribución significativa, aunque nunca representó más del 25% de los ingresos del sistema.

Con relación a los costos de operación (Cuadro 3), los alimentos suplementarios (melaza, urea, sales minerales y concentrado de terneras) representaron en promedio el 41% (variando entre el 30 y el 53%), los fertilizantes el 18% (fluctuaron del 8 al 33% a lo largo de los años), la leche para la alimentación de las terneras el 12%, y el 29% restante se distribuye entre el manejo del ordeño (8.2%), la inseminación artificial (7.2%), los costos de medicinas (5.3%) y un 8% para compra de vacas (Duarte 1991). Por su parte, los costos fijos estuvieron constituidos en un 84% por la mano de obra, el 10% por el mantenimiento de construcciones y otra infraestructura (p.e. cercas, bebederos) y 6% para el mantenimiento de equipo.

Los ingresos superaron a los egresos en todos los años, excepto en el 11° año en que se obtuvo una pérdida neta, debido a que se cargó el costo total de un equipo de ordeño adquirido en ese año. Las estimaciones del ingreso neto anual de la unidad productiva mostraron que en todos los años, con excepción de 1988, éste fue

superior a los \$3493/año. Cuando el ingreso neto fue expresado como retribución al trabajo del productor, y que por tanto la mano de obra permanente no se consideró como costo, se observó que el ingreso neto fue al menos 1.2 veces el valor del salario (año 11°), pero el resto de años varió entre 3.0 y 5.3 veces el valor del salario de un trabajador de campo. Esto indica que la implementación de un modelo similar al estudiado, cuando es bien manejado, puede contribuir a mejorar significativamente las condiciones de vida de los pequeños productores lecheros, lo cual fue corroborado por Murillo y Navarro (1986) cuando evaluaron la implementación de este modelo en las Colonias del ITCO (Instituto de Tierras y Colonización de Costa Rica. Actualmente denominado Instituto de Desarrollo Agrario) en Río Frío y Sonafluca de San Carlos (Costa Rica).

Cuando se estimó el ingreso neto acumulado, cargándose al primer año los costos de inversión, se vio que en el cuarto año ya se lograban ingresos positivos, lo cual es indicativo de la solidez financiera del sistema, pues prácticamente en 3 años se recuperó la inversión (Duarte 1991). Por otro lado, cuando se estimó el costo para producir un litro de leche (en colones constantes a 1990), éste fluctuó entre \$0.13 y 0.26, lo que representaba entre el 45% y el 89% del valor pagado al productor. Esto sugiere que en los años con buena producción láctea fue posible asegurar un alto margen de utilidad en esta actividad, además que en varios de estos años se produjo leche a un costo inferior al precio internacional (US\$0.20/kg), lo cual haría viable esta opción incluso bajo condiciones de libre competencia de mercado (Holmann et al. 1995).

Los análisis del rendimiento de la inversión en el Módulo Lechero destacan el atractivo financiero del sistema, pues la relación Costo/Beneficio (C/B) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) fueron de 1.29 y 20.9%, respectivamente. Cabe señalar que para que la inversión fuera atractiva se requería que C/B fuera al menos de 1.0 y la TIR igual o mayor al costo de oportunidad de capital, el cual correspondió al 10% durante el período que se efectuó la evaluación (Duarte 1991).

Cuadro 3. Detalle de ingresos y egresos (en colones constantes de 1990), a través de los años en el Módulo Lechero del CATIE, considerando el valor de salvamento (Duarte 1991).

Rubro	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13
<b>Ingresos totales</b>	1639333	1529517	1612398	1300043	1409637	1680096	1830209	1665688	1431437	1346016	1130811	1738368	2130339
Venta de leche	1568491	1461047	1469240	1172020	1059181	1511326	1459670	1616275	1374026	1251612	1114300	1537243	1185182
Venta de animales	70843	68470	143150	128023	350456	168770	370539	49413	57411	94404	16512	201125	24585
Valor de salvamento													920572
<b>Egresos totales</b>	810931	8098567	858600	849591	914295	1321296	1216256	1284349	1112176	941083	1249385	893916	885490
<b>Costos de operacion</b>	480629	452854	476287	462354	608724	6777997	700912	775263	624958	523069	595632	543000	476903
Alimentación	163145	159183	156043	130505	148354	157114	222121	201141	217648	139824	230212	206435	115019
Sanidad	30252	29321	37466	20306	18444	28406	36833	26693	27321	9266	11942	4166	4332
Operación Ordeño	19270	19747	21676	19694	28152	26245	33689	38349	31588	39564	42526	56792	62093
Inseminación	45899	42025	38168	46529	39933	20310	20660	34571	37218	5056	17688	22021	7400
Fertilizantes													
Nitrogenados	54943	47952	68606	62233	49899	84835	73694	149120	72557	70825	32868	59329	76517
Fert. Fórmula													
Completa	0	0	0	0	0	0	6485	0	10345	15738	37036	0	0
Leche Terneras	38403	16226	18304	60356	25411	53410	59720	55252	55387	67428	60551	61255	76257
Compra de Vacas	0	0	0	0	187400	158533	108340	109505	0	0	0	0	0
Arriendo de Tierra	128717	138400	136023	122731	111089	149142	139370	160633	172894	175368	162810	133002	135285
<b>Costos fijos</b>	330302	357002	382313	387237	305571	643299	515344	509087	487218	418015	653753	350916	408587
Mano Obra													
Permanente	286503	320236	300007	290217	248264	289866	438312	460381	458763	416300	424357	341223	408587
Mantener Constr.													
e Inst.	31220	19505	63372	28307	38605	330764	51149	18793	28455	1714	21352	5985	0
Mantener Equipo	12579	17261	18934	68713	18702	22669	25883	29912	0	0	208044	3708	0
<b>Ingreso neto</b>	828403	719661	753798	450451	495342	358799	613953	381338	319262	404934	----- 118574	844452	1244849

## CONCLUSIONES

Los resultados biológicos y económicos obtenidos a lo largo de más de una década de funcionamiento del Módulo Lechero del CATIE, evidencian el potencial que tienen los sistemas basados en gramíneas fertilizadas con N (250 kg/ha/año) para sostener una carga animal alta (5 UA/ha), y de esta forma favorecer el logro de niveles elevados de productividad lechera (>10800 kg/ha/año) en el trópico bajo. Sin embargo, las indicaciones de degradación de pasturas detectadas sugieren que un sistema de uso tan intenso de la pastura, debería incluir alguna estrategia de rehabilitación, en ciclos de 5-7 años, para contrarrestar problemas potenciales de compactación, déficit de nutrientes y acidificación del suelo.

Una de las mayores limitantes del sistema, es que las hembras de reemplazo inician tardíamente su vida productiva ( $39.3 \pm 3.9$  meses), lo cual se atribuye a que la pastura de Estrella Africana por sí sola, no es capaz de proveer los nutrientes requeridos para sostener una tasa de crecimiento aceptable entre el año de edad y el primer parto.

El presente estudio también demostró que bajo las condiciones en que operó el sistema, es factible producir leche a bajo costo (\$0.13 a 0.26/L), lo cual hace competitivo el sistema en una etapa de apertura de mercados, si se considera que el precio internacional de la leche es de US\$ 0.20. Igualmente, se evidenció la solidez financiera de la propuesta tecnológica, ya que durante el período bajo estudio la TIR (20.6%) del sistema fue el doble del costo de oportunidad de capital (10%).

## RECONOCIMIENTO

A los Drs. Héctor Muñoz, Gustavo Cubillos, Oliver W. Deaton y Manuel E. Ruiz, y al Ing. Guillermo Fuentes, quienes participaron en la conceptualización e implementación del Módulo Lechero del CATIE. Al Sr. Manuel Brown, quien por muchos años tuvo a su cargo las labores rutinarias del manejo de dicha unidad productiva. A los estudiantes Walter Rocha (Bolivia), Miguel Matus (Nicaragua), Roberto González (Costa Rica) y Oscar Duarte (Colombia), quienes a través de sus trabajos de tesis contribuyeron a la evaluación del Módulo Lechero.

## LITERATURA CITADA

- ALVAREZ, J. 1975. Evaluación de 25 años de selección en un hato lechero del trópico húmedo. Tesis M.Sc., Turrialba, Costa Rica. UCR/CATIE. 58 p.
- CARRILLO, F. 1974. Frecuencia de pastoreo y fertilización nitrogenada en la producción de 6 gramíneas tropicales. Tesis M.Sc., Turrialba, Costa Rica. IICA. 46 p.
- COLMAN, R.L.; KAISER, A.G. 1974. The effect of stocking rate on milk production from kikuyu grass pastures fertilized with nitrogen. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 14:155-160.
- COWAN, R.T.; MOSS, R.J.; KERR, D.V. 1993. Northern dairy feedbase 2001. 2. Summer feeding systems. *Tropical Grasslands* 27:150-161.
- CUBILLOS, G. 1981. Sistemas de producción de leche en las zonas tropicales. In: Memorias, Taller de trabajo sobre sistemas de producción de bovinos en el trópico americano, Colonia Tovar, Edo. Aragua, Venezuela. Ed. by L. Pearson de Vaccaro. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. p. 59-74.
- DAVISON, T.M.; COWAN, R.T.; SHEPHERD, R.K.; MARTIN, P. 1985. Milk production from cows grazing on tropical grass pastures. 2. Effects of stocking rate and level of nitrogen fertilization on milk yield and pasture-milk yield relationships. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 25:515-523.
- DE LA TORRE, M.; PEZO, D.; ECHEVARRIA, M. 1978. Producción de leche con base en pastoreo en la Amazonía Peruana. *Memoria ALPA* 13:42.
- DUARTE, O. 1991. Evaluación dinámica y simulación del módulo lechero del CATIE. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 174 p.
- FERNANDEZ BACA, S. 1992. Perspectivas de la producción de leche y carne en el trópico americano. In: Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano. Ed. by S. Fernández Baca. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. p. 483-504.
- GALINA, C.; ARTHUR, G. 1989a. Review of cattle reproduction in the tropics. 1. Puberty and age at first calving. *Animal Breeding Abstracts* 57:583-590.
- GALINA, C.; ARTHUR, G. 1989b. Review of cattle reproduction in the tropics. 2. Parturition and calving intervals. *Animal Breeding Abstracts* 57: 679-686.

- GONZALEZ, M.S.; VAN HEURCK, L.M.; ROMERO, F.; PEZO, D.A.; ARGEL, P. 1996. Producción de leche en pasturas de estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) sola y asociada con *Arachis pintoi* o *Desmodium ovalifolium*. *Pasturas Tropicales* 18(1) 2-12.
- GONZALEZ, R. Análisis bio-económico del Módulo Lechero del CATIE al cabo de 12 años de operación. Tesis Ing. Agr. Universidad de Costa Rica, Sede Regional del Atlántico. Turrialba, Costa Rica. 79 p.
- GORDON, I.J.; LASCANO, C. 1993. Foraging strategies of ruminant livestock on intensively managed grasslands: Potential and constraints. *In: Proceedings XVII International Grassland Congress*. Palmerston North, New Zealand/Rockhampton, Australia. New Zealand Grassland Association and Tropical Grassland Society of Australia. Palmerston North, New Zealand. p. 681-690.
- GUTIERREZ, M.A. 1974. Comparación de 2 métodos intensivos de utilización de pasto estrella africana (*Cynodon plectostachyus* (K. Schum) Pilger). Tesis M.Sc., IICA, Turrialba, Costa Rica. 71 p.
- HART, R.D.; SANDS, M.W. 1995. The role of livestock in the design of sustainable land-use systems. *In: Global workshop on animal production systems*. Proceedings. M.E. Ruiz, C. Seré y H. Li Pun. Research and Development Collection N° 26. San José, Costa Rica. IICA. p. 373-384.
- HOLDRIDGE, L. 1978. Ecología basada en zonas de vida. serie libros y materiales de enseñanza. San José, Costa Rica. IICA. 276 p.
- HOLMANN, F.; ESTRADA, R.D.; ROMERO, F.; VILLEGAS, L.A. 1995. Technology adoption and competitiveness in small dairy farms in Costa Rica: A case study. *In: Global workshop on animal production systems*. Proceedings. Ed. by M.E. Ruiz, C. Seré y H. Li Pun. Research and Development Collection N° 26. IICA. San José, Costa Rica. p. 141-168.
- HUMPHREYS, L.R. 1991. Tropical pasture utilisation. Cambridge University Press, Cambridge (UK). 202 p.
- JEREZ, I.; MENCHACA, M.A.; RIBEIRO, J.L. 1986. Evaluación de 3 gramíneas tropicales. 2. Efecto de la carga animal sobre la producción de leche. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas* 20: 231-237.
- LACA, E.A.; UNGAR, E.D.; SELIGMAN, N.G.; RAMEY, M.R.; DEMMENT, M.W. 1992. Effect of sward height and bulk density on bite dimensions of cattle grazing homogeneous swards. *Grass and Forage Science* 47:91-102.
- MARTINEZ, N.; ESCOBAR, A.; LOPEZ, S.; COMBELLAS, J.; GABALDON, L. 1996. Effect of strategic supplementation on productive and reproductive performance in dual-purpose cows. *In: Development of feed supplementation strategies for improving ruminant productivity on small holder farms in Latin America through the use of immunoassay techniques*. IAEA-TECDOC-877. IAEA, Vienna, Austria. p. 135-144.
- MOLINA, O. 1973. Efecto de la suplementación con concentrados líquidos y la restricción del pastoreo en producción de leche. Tesis M.Sc. Turrialba, Costa Rica. IICA. 53 p.
- MURILLO, O.; NAVARRO, L. 1986. Validación de prototipos de producción de leche en la Zona Atlántica de Costa Rica. Serie Técnica, Informe Técnico N°90. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 97 p.
- PEZO, D.A. 1996. Potencial de sostenibilidad en sistemas de producción animal basados en la utilización de recursos alimenticios locales. *In: 1er. Ciclo de Conferencias sobre "Utilización de recursos alimenticios alternativos para rumiantes en el trópico"*. Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos, San Juan de los Morros, Guárico, Venezuela. p. 119-146.
- PEZO, D.; ROMERO, F.; IBRAHIM, M. 1992. Producción, manejo y utilización de los pastos tropicales para la producción de leche y carne. *In: Avances en la producción de leche y carne en el trópico americano*. Ed. by S. Fernández Baca. FAO, Santiago, Chile. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. p. 47-98.
- PEZO, D.A.; VILLEGAS, L.A.; ROMERO, F. 1993. Módulos lecheros ITCO/CATIE: Una experiencia de adaptación tecnológica a nivel de finca. *In: Investigación con pasturas en fincas*. Memorias VII Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT), Palmira, Colombia, 27-29 de agosto de 1990. CIAT, Documento de Trabajo No.124. CIAT, Cali, Colombia. p. 203-214.
- RAMIREZ, A. 1974. Efecto del ciclo de uso, la presión de pastoreo y la fertilización nitrogenada en la producción de praderas de pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* (K. Schum) Pilger). Tesis M.Sc., Turrialba, Costa Rica. IICA. 122 p.
- RICARDO, F. 1973. Efecto del N y del corte en la producción y composición del pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* (K. Schum) Pilger). Tesis M.Sc., Turrialba, Costa Rica. IICA. 99 p.
- RIESCO, A. 1992. La ganadería bovina en el trópico americano: situación actual y perspectivas. *In: Avances en la Producción de Leche y Carne en el Trópico*

Americano. Ed. by S. Fernández Baca. Santiago, Chile. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. p. 13-46.

RUIZ, M.E.; CUBILLOS, G.; DEATON, O.W.; MUÑOZ, H. 1980. A system of milk production for small farmers. *In: Proceedings of the International Foundation for Science Conference held in Aborlan, The Phillipines.* p. 246-264.

SANCHEZ, P.A.; ARA, M.A. 1991. Contribución potencial de las pasturas mejoradas a la sostenibilidad de los ecosistemas de sabana y de bosque húmedo tropical. *In: Contribución de las Pasturas Mejoradas a la Producción Animal en el Trópico. Memorias de una Reunión de Trabajo realizada en Cali, Colombia, 9-10 de abril de 1989. CIAT, Documento de Trabajo No.80. Cali, Colombia. CIAT. p. 1-24.*

TEITZEL, J.K.; GILBERT, M.A.; COWAN, R.T. 1991. Sustaining productive pastures in the tropics. 6. Nitrogen fertilized pastures. *Tropical Grasslands* 25:111-118.

VICENTE-CHANDLER, J.; ABRUÑA, J.F.; CARO-COSTAS, R.; FIGARELLA, J.; SILVA, S.; PEARSON, R.W. 1974. Intensive grassland management in the humid tropics of Puerto Rico. University of Puerto Rico, Agricultural Experiment Station. Bulletin N° 233. Río Piedras, Puerto Rico. 164 p.

ZAÑARTU, D. 1975. Presión de pastoreo y fertilización nitrogenada en la producción de carne en praderas de pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis*). Tesis M.Sc. UCR / CATIE, Turrialba, Costa Rica. 99 p.