

Conceptos y Metodologías de Investigación en Fincas con Sistemas de Producción Animal de Doble Propósito

Editores: C. E. Lascano
F. Holmann



El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se dedica al alivio del hambre y de la pobreza en los países tropicales en desarrollo, mediante la aplicación de la ciencia al aumento de la producción agrícola, conservando, a la vez, los recursos naturales.

El CIAT es uno de los 16 centros internacionales de investigación agropecuaria auspiciados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agropecuaria Internacional (GCIAT).

El presupuesto básico del CIAT es financiado por 25 donantes, entre los que figuran gobiernos de países, organizaciones para el desarrollo regional e institucional y fundaciones privadas. En 1997, los siguientes países son donantes del CIAT: Alemania, Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, Colombia, Dinamarca, España, los Estados Unidos de América, Francia, Holanda, Japón, Noruega, el Reino Unido, Suecia y Suiza. Las entidades donantes son el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Mundial, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (IFAD), la Fundación Ford, la Fundación Nippon, la Fundación Rockefeller, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y la Unión Europea (UE).

La información y las conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan necesariamente los puntos de vista de los donantes.

El Consorcio Tropileche es una iniciativa liderada por el CIAT y que forma parte de un programa colaborativo en ganadería entre Centros Internacionales de Investigación (Systemwide Livestock Program), el cual es coordinado por el ILRI (sigla en inglés para el International Livestock Research Institute) con sede en Kenia y Etiopía. El objetivo del Consorcio Tropileche es evaluar con métodos participativos nuevos recursos alimenticios basados en leguminosas para aumentar la producción de leche y carne en sistemas de doble propósito en fincas de pequeños productores. Los componentes de investigación de Tropileche incluyen: (1) Optimizar la utilización de forrajes, (2) Desarrollar sistemas mejorados de alimentación para ganado de doble propósito, y (3) Definir la utilidad (social, económica y ambiental) de nuevos sistemas forrajeros. El Consorcio Tropileche trabaja en dos sitios estratégicos: los márgenes de bosque de la Amazonía en Pucallpa, Perú, y las laderas secas de Centroamérica en Esparza, Costa Rica. Los socios de Tropileche son el CIAT, el ILRI, la Universidad de Cornell, el MAG, la ECAG y la UCR en Costa Rica, y el INIA, el IVITA, CODESU, la Universidad de Ucayali y el IIAP en Perú. Adicionalmente, Tropileche tiene como meta formar alianzas estratégicas con instituciones en países de América Latina tropical con interés en el desarrollo de sistemas de ganadería doble propósito, como ya está operando con el Proyecto de Desarrollo Lechero MAG-PMA en Nicaragua y con el Programa Ganadero del DICTA en Honduras.

ISBN 958-9439-93-4

Conceptos y Metodologías de Investigación en Fincas con Sistemas de Producción Animal de Doble Propósito

Editores: C. E. Lascano
F. Holmann



Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)
Apartado Aéreo 6713
Calí, Colombia

Consorcio Tropileche
Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)
Apartado Aéreo 6713
Calí, Colombia

Edición: Alberto Ramírez
Asistente editorial: Gladys Rodríguez
Diseño y diagramación: Jorge Gallego (Artes Gráficas del CIAT)

Publicación CIAT No. 296
ISBN 958-9439-93-4
Tiraje: 750 ejemplares
Impreso en Colombia
Noviembre 1997

Lascano, C.E. ; Holmann, F. (eds.)

Conceptos y metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito. Calí (Colombia) : Centro Internacional de Agricultura Tropical ; Consorcio Tropileche, 1997.
285 p. -- (Publicación CIAT ; no. 296)

ISBN 958-9439-93-4

1. Doble propósito -- Mediciones en animales. 2. Doble propósito -- Nutrición.
3. Doble propósito -- Indicadores de estado nutricional. 4. Doble propósito --
Modelación de sistemas. 5. Doble propósito -- Uso de la tierra. 6. Doble
propósito -- Investigación participativa. I. Lascano, C. E. II. Holmann, F.
III. Centro Internacional de Agricultura Tropical. IV. Consorcio Tropileche.

A la Memoria de

José M. Toledo

Contenido

	Pág.
Prefacio	vii
 <i>Mediciones en Animales en Fincas con Ganado de Doble Propósito</i>	
Fuentes de Variación en la Producción y Composición de la Leche de Vacas en un Sistema de Pastoreo Secuencial <i>C. E. Lascano, P. Avila, G. Ramírez y M. C. Amézquita</i>	3
Uso de Indicadores en la Sangre y la Leche para Determinar el Estado Nutricional y Reproductivo del Ganado Vacuno <i>A. C. Hammond y C. C. Chase, Jr.</i>	15
Uso del Radioinmuno-ensayo de Progesterona para Mejorar la Producción Animal en Sistemas de Doble Propósito <i>M. García-Podestá</i>	26
Manejo de la Nutrición de la Vaca y la Relación Vaca-Ternero <i>C. A. Sandoval Castro, J. D. Leaver y S. Anderson</i>	45
Cuantificación de la Interacción Genotipo:Ambiente en Sistemas de Producción con Bovinos de Doble Propósito <i>L. Vaccaro, A. Pérez, H. Mejías, R. Khalil y R. Vaccaro</i>	67
Análisis del Efecto del Grupo Genético sobre la Producción de Leche y Comportamiento Reproductivo en una Finca de Doble Propósito <i>M. C. Amézquita y G. Lema</i>	80
 <i>Aplicación de Modelos para Optimizar el Uso de Recursos en Fincas con Ganado de Doble Propósito</i>	
Modelación de Sistemas de Producción de Leche: Descripción de sus Componentes e Interacciones para el Diseño de Modelos de Simulación <i>C. U. León-Velarde, B. Arce y R. Quiroz</i>	95
Modelos Económicos de Nivel Agregado como Instrumentos de Apoyo a la Investigación Agropecuaria <i>L. Rivas R.</i>	117
Alternativas Agropecuarias en la Región Pacífico Central de Costa Rica: Un Modelo de Simulación Aplicable a Sistemas de Doble Propósito <i>F. Holmann y R. D. Estrada</i>	134

**Metodologías para Caracterizar el Uso de la Tierra,
la Participación de los Productores, y Medir la
Adopción y el Impacto de Nuevas Tecnologías**

Clasificación de Sistemas de Producción Animal <i>M. E. Ruiz</i>	153
Indicadores Económicos y Ambientales en Sistemas de Doble Propósito: Principios para su Selección <i>P. C. Kerridge</i>	165
Metodología para Caracterizar Sistemas de Uso de Tierras: Acre, Rondônia, y Pucallpa en la Amazonía <i>S. Fujisaka</i>	174
Monitoreo de Sistemas de Producción de Doble Propósito a Nivel de la Vaca, el Hato y el Productor <i>S. Anderson y J. Santos</i>	191
La Investigación Participativa con Productores: Una Metodología Orientada a la Vinculación Temprana y Activa de los Destinatarios Potenciales de las Tecnologías <i>J. A. Ashby, T. Gracia y L. A. Hernández</i>	213
Metodologías para la Evaluación de Adopción e Impacto de Pasturas Mejoradas: El Caso de Adopción Temprana de <i>Arachis pintoi</i> en Colombia <i>L. Rivas R.</i>	236
La Adopción de <i>Calliandra calothyrsus</i> en Embu, Kenia: Efecto en la Producción de Leche y en el Ingreso Familiar <i>S. Franzel, H. Arimi, J. Karanja y F. Murithi</i>	256
Conclusiones y Recomendaciones de los Grupos de Trabajo	271
Lista de Participantes	277
Acrónimos y Abreviaturas	279
Índice Abreviado de Materias	281

Prefacio

El crecimiento de la producción de leche y carne en América Latina tropical en las décadas de los 60, 70 y 80 se debió, principalmente, a la incorporación de los recursos productivos básicos, tierra y ganado. Según datos de la FAO, el promedio anual de crecimiento durante este periodo fue 3.5% para leche, 3.4% para carne, 2.8% en el inventario animal, y 0.9% de crecimiento en el área de pasturas. Es decir, alrededor del 75% de los incrementos anuales de producción de leche y carne se debieron a incrementos en el inventario animal. Este incremento estuvo asociado con la incorporación de nuevas áreas en pasturas y con el auge de los proyectos de colonización, con financiación externa e interna, y con un alto componente de subsidios vía crédito.

Comparativamente, la década de los 90 está mostrando una aparente intensificación en los sistemas de producción animal en América Latina tropical. Durante el periodo 1991 a 1995, la producción de leche y carne creció con un ritmo anual de 3.2% y 2.9%, respectivamente, mientras que el inventario animal creció 0.6% y el área de nuevas pasturas en apenas 0.2% anual durante el mismo periodo. Es decir, en esta década sólo el 20% de los incrementos en producción de leche se debieron a aumentos en el inventario animal, lo que sugiere que el 80% del incremento de la producción se debió a mejoras en la productividad animal mediante la incorporación de nuevos forrajes, mejoramiento genético, y una administración más eficiente de los recursos productivos.

La creación de bloques de comercio como Mercosur, el Pacto Andino, y el Mercado Común Centroamericano están propiciando un ambiente de competencia con base en un mejoramiento de la eficiencia productiva, lo cual implica la incorporación de nuevos avances tecnológicos. En este sentido, los países están cada vez más interesados en conocer si los productores agropecuarios van a ser competitivos en economías abiertas. Por tanto, existe la necesidad de identificar las ventajas comparativas de las diferentes tecnologías.

En América Latina tropical, la leche es producida principalmente en sistemas especializados y de doble propósito. Se estima que el 41% de la leche producida y el 78% de las vacas que se ordeñan en esta región se encuentran bajo sistemas de producción de doble propósito, principalmente en fincas de pequeños y medianos productores donde las pasturas son la principal fuente de alimentación animal.

Las principales limitantes para aumentar productividad en este sistema son la baja cantidad y la pobre calidad del forraje disponible, el potencial genético de los animales y el manejo. Por tanto, con una alimentación animal mejorada sería posible aumentar la productividad y la rentabilidad del sistema de producción de doble propósito.

Con base en esta problemática, el Consorcio Tropicorche llevó a cabo un taller sobre "Metodologías de investigación en fincas con sistemas de producción animal de doble propósito", con el objetivo de definir estrategias para la investigación biológica y socioeconómica en fincas bajo estos sistemas de producción.

La organización del taller giró alrededor de los temas:
(a) mediciones en ganado de doble propósito (6 ponencias);
(b) aplicación de modelos de simulación para optimizar el uso de los recursos en fincas con sistemas de ganado de doble propósito (3 ponencias), y (c) caracterización del uso de la tierra e impacto de la adopción de nuevas fuentes de alimentación y prácticas de manejo (7 ponencias).

En el taller participaron 52 investigadores de 12 países que representaban diferentes instituciones, proyectos de investigación y áreas de especialización.

Los Editores

**MEDICIONES EN ANIMALES EN
FINCAS CON GANADO DE
DOBLE PROPÓSITO**

Fuentes de Variación en la Producción y Composición de la Leche de Vacas en un Sistema de Pastoreo Secuencial

C. E. Lascano*, P. Avila*, G. Ramirez** y M. C. Amézquita**

Resumen

Una alternativa para acelerar la adopción de leguminosas por parte de los productores es demostrar sus ventajas mediante pruebas en fincas. Sin embargo, este tipo de evaluación presenta retos metodológicos, tales como limitado control de factores experimentales, complejidad en la obtención de variables de respuesta animal y dificultades logísticas de ejecución. Con el fin de derivar recomendaciones para la evaluación de pasturas en fincas con vacas lecheras, se analizaron datos de producción y composición de leche de vacas de doble propósito en pastoreo secuencial en pasturas contrastantes de sólo gramíneas y gramíneas asociadas con leguminosas. Se presentan los resultados del análisis de producción diaria y composición de la leche (grasa y N ureico) obtenidos en ensayos controlados en la estación CIAT-Quilichao, utilizando un diseño Cuadrado Latino reversible. Además, se analiza el efecto que la secuencia de rotación de las vacas y los días de acostumbramiento o ajuste tienen en la producción de leche de vacas en pasturas contrastantes. Con base en los resultados del análisis de este estudio se derivan algunas recomendaciones metodológicas que podrían ser útiles en la evaluación de pasturas en fincas de ganado de doble propósito: (1) en los trabajos en fincas se debería incluir en las evaluaciones la pastura del productor (control negativo), junto con la pastura de gramínea sola introducida y gramínea asociada con leguminosas. (2) El área en fincas que se establecerá con especies introducidas dependerá, en gran medida, del terreno disponible, la disponibilidad de semilla, el número de vacas en ordeño, la capacidad estimada de carga de las nuevas pasturas en épocas de lluvia y seca, y el manejo del pastoreo que utiliza el productor, teniendo en cuenta los periodos de ocupación y descanso y el área para ajuste y medición. (3) La medición de leche en las pasturas bajo evaluación se

* Zootecnistas del Programa de Forrajes Tropicales, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

** Biometristas, CIAT.

debería hacer con un mínimo de 7 días de ajuste previo y rotando las vacas de la pastura con mejores atributos forrajeros; por ejemplo, la asociación de gramínea/leguminosa, a la pastura con menores atributos forrajeros como gramínea introducida y gramínea del productor. (4) Para permitir a las vacas una fase de acostumbramiento o ajuste será necesario dividir en partes iguales el área de las pasturas bajo evaluación, utilizando, de ser posible, cercas eléctricas para abaratar costos. (5) La frecuencia de medición de leche dependerá del potencial de producción de las vacas en la finca, y de la condición de la cantidad y calidad de las pasturas. (6) Con vacas de alto o mediano potencial de producción (5-10 lt), sería necesario medir la producción de leche al inicio, en la mitad y al final del pastoreo (previo ajuste), especialmente en pasturas con cantidad y calidad de forraje limitante —pastura con gramínea introducida y gramínea del productor. (7) Con vacas de menor potencial de producción (3-5 lt) se podría medir la leche al inicio y final del pastoreo (previo ajuste), independientemente de la condición de las pasturas. (8) Para el análisis e interpretación de los datos de producción de leche obtenidos en las fincas en pasturas contrastantes, sería conveniente separar los efectos animales, tales como grupo racial y tercio de lactancia, tanto en la época lluviosa como en la seca. (9) Para el diseño estratégico de suplementación y la interpretación retrospectiva de resultados de producción de leche en pasturas contrastantes en fincas, se podría medir nitrógeno ureico en la leche (MUN). El nivel de MUN se debería medir, por lo menos, al inicio y final de pastoreo en muestras individuales tomadas al momento del ordeño y antes de suministrar suplementos.

Introducción

En América Latina tropical, la ganadería de doble propósito comprende el 78% de la carne y el 41% de la leche producida. En este sistema de producción, la mayor fuente de alimentación de los animales proviene de pasturas de gramíneas nativas o introducidas, muchas veces limitantes en cantidad y calidad de biomasa, particularmente en la época seca. En consecuencia, la producción de leche (2 a 4 lt/vaca por día) y la eficiencia reproductiva (50%-60%) de los hatos son bajas.

La investigación en América tropical ha desarrollado gramíneas y leguminosas con potencial para aumentar la producción

animal en sistemas de pastoreo (Toledo, 1985). En particular, está bien documentado que leguminosas seleccionadas para suelos ácidos en asociación con gramíneas contribuyen a aumentar entre 20% y 30% la producción de leche de vacas en pastoreo (Lascano y Avila, 1991). No obstante, la adopción de leguminosas por productores en América tropical ha sido limitada.

Una alternativa para acelerar esta adopción es demostrar sus ventajas a productores mediante pruebas en fincas. Sin embargo, este tipo de evaluación presenta retos metodológicos, tales como limitado control de factores experimentales, complejidad en la obtención de variables de respuesta animal, y dificultades logísticas de ejecución.

Algunos tipos de pruebas para experimentar con nuevas pasturas en fincas con ganado de doble propósito son:

(1) evaluar pasturas distintas en cada finca, por ejemplo, en la finca A una pastura nueva, y en la finca B una pastura tradicional; y (2) evaluar pasturas contrastantes en un orden determinado (pastoreo secuencial) en la misma finca, por ejemplo, vacas que rotan de la pastura tradicional a la pastura nueva. Al evaluar pasturas diferentes por finca, las comparaciones entre éstas se confunde con otros factores como suelo, clima, tipo de ganado y manejo, lo cual se evita con la evaluación de pasturas en secuencia en la misma finca.

Por otra parte, este tipo de evaluación de pasturas ofrece algunas ventajas adicionales tales como: (1) compatibilidad con el manejo de las vacas de ordeño, como en el caso de rotación a través de potreros de la finca; (2) flexibilidad en el manejo del pastoreo en las pasturas en evaluación —días variables de ocupación y descanso según especie sembrada o tamaño del potrero; (3) rapidez en la respuesta de producción de leche en función de los atributos de las pasturas —cantidad y calidad del forraje en oferta— en evaluación; y (3) posibilidad de reconstruir curvas de lactancia en pasturas contrastantes.

No obstante, este tipo de prueba tiene algunas desventajas, entre ellas: (1) se desfasan en el tiempo las mediciones de respuesta animal, especialmente la producción de leche; (2) se requiere un periodo de acostumbramiento o ajuste de las vacas a las pasturas en evaluación; y (3) es difícil obtener información sobre el efecto de las pasturas en los parámetros reproductivos.

Con base en el análisis anterior, se sugiere que el sistema secuencial de pastoreo es una opción para evaluar nuevas pasturas en fincas de ganado de doble propósito. Con el fin de derivar recomendaciones para el uso de esta metodología, se analizaron datos de producción y composición de leche de vacas en pastoreo secuencial en pasturas

contrastantes. En este artículo se presentan los resultados del análisis, haciendo énfasis en la correlación entre algunas variables de respuesta animal y en la definición de fuentes de variación en producción y de algunos constituyentes de la leche. Además, se analiza el efecto que la secuencia de rotación de las vacas y los días de acostumbramiento o ajuste tienen en la producción de leche de vacas en pasturas contrastantes.

Fuente de la Información Utilizada en el Análisis

Durante los últimos años, el Programa de Forrajes Tropicales del CIAT ha evaluado el potencial de producción de leche en pasturas seleccionadas de gramíneas solas y en asociación con leguminosas. Estos ensayos de pastoreo se han realizado bajo condiciones controladas en la estación CIAT-Quilichao, utilizando en todos los casos un diseño Cuadrado Latino reversible (Lascano y Avila 1991). Para el análisis que se presenta se utilizaron datos de producción diaria y composición de la leche (grasa y N ureico) obtenidos durante 4 años (1992-1995) en 16 experimentos con diseño Cuadrado Latino reversible 3 x 3. En estos experimentos se evaluaron a través del tiempo tres pasturas de gramínea sola y siete pasturas de gramíneas asociadas con leguminosas. Del total de experimentos que se incluyeron en el análisis, siete se realizaron en época de mínima precipitación (balance hídrico < 50 mm) y nueve en época de máxima precipitación (balance hídrico > 50 mm). En cada Cuadrado Latino, con tres periodos experimentales, se midió la leche durante 14 días por periodo, de los cuales 7 eran de ajuste y 7 de medición. Esto resultó en un total de 124 observaciones con vacas tipo mestizo (cruces Cebú x europeo) y 347 observaciones con vacas tipo Holstein.

El ordeño de las vacas se realizó en forma manual en la mañana y en la tarde durante cada periodo experimental, incluyendo las fases de ajuste y medición. Los terneros de las vacas tipo mestizo

recibían la leche residual después de cada ordeño, independientemente de su edad. Las vacas, una vez ordeñadas, salían a pastoreo y los terneros se colocaban en pequeños potreros con alta proporción de leguminosas.

Los análisis de composición de la leche incluyeron nitrógeno ureico (MUN) en suero de muestras de leche tomadas en la mañana y tarde de los días 1, 4 y 7 de pastoreo de la fase de medición, utilizando un "kit" de urea ("Ames") comercial. El contenido de grasa se determinó únicamente en muestras de leche tomadas en la mañana y en la tarde del último día de pastoreo (día 7) de la fase de medición. Además, se tomaron muestras de sangre en la mañana y tarde durante los días 1 y 7 de la fase de medición para determinar N ureico (BUN) en el suero.

Fuentes de Variación en el Análisis

La base de datos utilizada en el análisis se estructuró para separar fuentes de variación en producción y composición de leche, tales como: (1) Presencia de leguminosas (*Centrosema acutifolium*, *Stylosanthes guianensis*) en la pastura. (2) Especie de gramínea (*Andropogon gayanus*, *Brachiaria dictyoneura* y *Panicum maximum*). (3) Días de ocupación de las pasturas durante la fase de medición. (4) Grupo racial de vacas (mestizas y Holstein). (5) Estado de lactancia de vacas por tercio (primero, segundo y tercero). (6) Condición climática en términos de mínima (balance hídrico < 50 mm) o máxima (balance hídrico > 50 mm) precipitación.

Es importante anotar que el análisis no incluyó otras fuentes de variación en producción de leche que pudieran ser importantes en fincas de ganado doble propósito, tales como edad de la vaca y número de partos, y manejo del ordeño —leche para terneros en función de edad, tiempo de pastoreo, tiempo de encierro de terneros.

Para el análisis de los datos de producción y composición de la leche se utilizó el paquete estadístico SAS versión 6 (SAS, 1985), con el cual se realizaron análisis de comparación de medias (prueba "t"), y análisis de regresión lineal y de correlación entre algunas variables. Se realizó, además, un análisis de regresión multietápica ("step-wise", en inglés) para definir incidencia de las variables independientes en el modelo y GLM ("General Linear Models", en inglés) para estimar la magnitud y significancia de los coeficientes de la regresión. Debido a que las variables independientes eran categóricas, con excepción de días de pastoreo, fue necesario utilizar variables dicotómicas, como presencia o ausencia, para el análisis de regresión multietápica.

Fuentes de Variación en Producción de Leche

En el análisis de regresión multietápica de fuentes de variación en producción de leche, se encontró que los coeficientes asociados con grupo racial, tercio de lactancia, presencia de leguminosa y precipitación eran significativamente ($P < 0.0001$) diferentes de cero (0) (Cuadro 1). Estas variables independientes en el modelo únicamente explicaron el 40% de la variación total en producción de leche. Es posible que si en el modelo se hubiera incluido alguna medida de consumo de leguminosa, por ejemplo, porcentaje de leguminosa en la dieta, se habría podido explicar una mayor proporción de la variabilidad en producción de leche.

El análisis mostró un gran efecto de grupo racial en producción de leche; sin embargo, fue más importante la interacción grupo racial x tipo de pastura. Consistentemente, los resultados de los ensayos de pastoreo secuencial mostraron que la respuesta en producción de leche debido a las leguminosas en asociación con gramíneas, fue mayor con vacas tipo Holstein que con vacas tipo mestizo (Cuadro 2).

Cuadro 1. Fuentes de variación asociadas con producción diaria de leche en vacas en sistema secuencial de pastoreo (con ajuste previo de 7 días).

Fuentes de variación	Coefficiente de la regresión ^{a,b}	Significancia
Grupo racial: Presencia de vacas tipo Holstein	3.7	0.0001
Tercio de lactancia: Primero vs. segundo y tercero	2.1	0.0001
Pastura: Presencia de leguminosa	1.6	0.0001
Balance hídrico: Presencia de lluvias	1.1	0.0001

a. Análisis de regresión multietápica utilizando variables "dummy" (ausencia o presencia).

b. R^2 del modelo de regresión = 0.40.

Cuadro 2. Incremento en producción de leche debido a leguminosas con vacas tipo Mestizo (M) y tipo Holstein (H) en un sistema secuencial de pastoreo.

Gramínea (expto. no.)	Grupo racial	Incremento de leche con leguminosa (lt/vaca por día)	Significancia ^a
<i>A. gayanus</i>			
1	M	0.4	*
	H	1.9	
2	M	0.1	*
	H	1.3	
3	M	0.5	**
	H	1.5	
<i>B. dictyoneura</i>			
1	M	0.8	**
	H	1.7	
2	M	0.7	**
	H	1.8	
3	M	0.2	***
	H	1.2	
4	M	1.1	*
	H	2.6	

a. Interacción tipo pastura x grupo racial.

* $P < 0.10$; ** $P < 0.05$; *** $P < 0.01$.

Se deduce de los resultados anteriores que para interpretar mejor el efecto de pasturas contrastantes en producción de leche, es conveniente separar en el análisis de los datos los efectos de grupo racial —potencial de producción de leche— y condición fisiológica de las vacas —tercio de lactancia, tanto en época seca como lluviosa.

Frecuencia de Medición de Leche

En la evaluación de nuevas pasturas en fincas es importante definir la frecuencia con la cual se debe medir leche, con el fin de utilizar más eficientemente los recursos humanos y financieros, normalmente escasos.

Medición en la mañana y en la tarde

El análisis mostró una alta correlación ($r = 0.86$, $P < 0.0001$) entre la leche medida en la mañana y la medida en la tarde. Sin embargo, la primera fue, en promedio, dos veces más alta que la segunda, como se deriva de la ecuación de regresión lineal que se ajustó a los datos de leche producida en la tarde (Y) y la producida en la mañana (x).

$$Y = -0.03 + 0.46x, \quad r^2 = 0.74, \quad P < 0.01$$

Aunque posiblemente son pocas las fincas de ganado de doble propósito que practican el doble ordeño, se sugiere que cuando se trabaja en este tipo de explotación el efecto de pasturas sobre producción de leche se podría estimar midiendo sólo la leche en la mañana. Obviamente, esta decisión tiene implicaciones en ahorro de tiempo y mano de obra, que son consideraciones importantes cuando se trabaja en fincas.

Medición en función de días de pastoreo

Las vacas en los ensayos de pastoreo secuencial incluidos en el análisis permanecían 14 días en cada pastura bajo evaluación, y en 7 de ellos se midió la

producción de leche. La producción en el primer día de pastoreo de la fase de medición se correlacionó en forma significativa ($r = 0.90$, $P < 0.0001$) con la producción del último día de pastoreo (día 7) (Figura 1). Sin embargo, el rendimiento de leche estimado con la ecuación de regresión fue 4% mayor (vacas de 10 lt/día) en el día 1, en comparación con el día 7 de pastoreo.

En el análisis de comparación de medias (prueba "t") de la leche producida en función de días de pastoreo, se encontraron diferencias debidas a tipos de pasturas y grupo racial de vacas (Cuadro 3). Con vacas tipo mestizo, el promedio de rendimiento de leche en pastura de la gramínea sola o gramínea/leguminosa varió poco entre días de pastoreo. En contraste, con vacas tipo Holstein este promedio en gramínea sola fue mayor ($P < 0.05$ a 0.10) en los primeros 4 días de pastoreo en comparación con el promedio de los 7 días, lo cual no se observó en la asociación con la leguminosa.

Estos resultados tienen implicaciones metodológicas, ya que sugieren que la frecuencia de medición de la producción de leche en sistemas secuenciales del pastoreo en fincas podría estar en función del tipo de vaca y la condición de las pasturas bajo

evaluación. En fincas con alta proporción de vacas tipo europeo, que tienen alto potencial de respuesta en producción de leche debido a cambios en condición de las pasturas, sería necesario medir la leche más frecuentemente —por ejemplo, al inicio, en la mitad y al final del pastoreo; previo ajuste— en pasturas con limitaciones de calidad y cantidad de forraje. Por otra parte, en fincas con vacas de ordeño tipo mestizo, que tienen bajo o mediano potencial de respuesta en producción de leche debido a cambios en condición de las pasturas, se podría medir leche con menos frecuencia —por ejemplo, día inicial y día final de pastoreo; previo ajuste— independientemente de la condición de las pasturas en evaluación.

Fuentes de Variación en Contenido de Grasa en la Leche

El contenido de grasa medido en el último día de pastoreo varió poco debido a factores alimenticios (entre 3.8% y 3.9%) o la precipitación (entre 3.8% y 4.0%). No obstante, como era de esperarse, la grasa en la leche fue menor ($P < 0.05$) en vacas en el

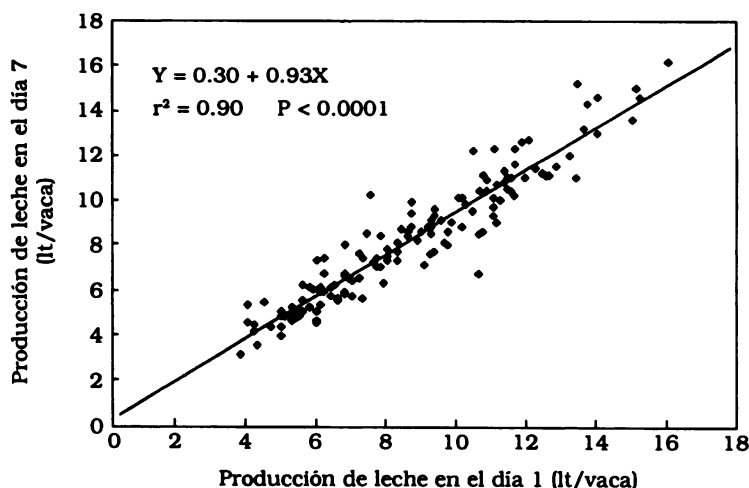


Figura 1. Relación entre la leche producida por vacas en el primero (día 1) y el último día (día 7) en pasturas contrastantes, previo ajuste de 7 días. Estación CIAT-Quilichao, Colombia.

Cuadro 3. Comparación de promedios de producción de leche en función del número de días consecutivos de medición con vacas en pastoreo (ajuste previo de 7 días).

Días de pastoreo	Gramínea			Gramínea + leguminosa		
	Media	E.S. ^a	Sig. ^b	Media	E.S.	Sig.
Vacas tipo mestizo						
2	6.3	0.18	ns	6.8	0.22	ns
3	6.2	0.15	ns	6.7	0.18	ns
4	6.2	0.13	ns	6.7	0.14	ns
5	6.2	0.11	ns	6.7	0.13	ns
6	6.1	0.10	ns	6.7	0.11	ns
7	6.1	0.09	—	6.6	0.10	—
Vacas tipo Holstein						
2	8.9	0.12	*	9.8	0.27	ns
3	8.8	0.09	*	9.8	0.20	ns
4	8.7	0.08	*	9.8	0.17	ns
5	8.6	0.08	ns	9.8	0.15	ns
6	8.5	0.08	ns	9.7	0.14	ns
7	8.4	0.09	—	9.7	0.13	—

a. E.S. = Error estándar.

b. Significancia con respecto a la media de 7 días consecutivos de pastoreo.

* $P < 0.10$; ns = no significativo.

primer tercio de lactancia (3.6%) que en vacas en el último tercio (4.1%). Además, el contenido de grasa en la leche de vacas tipo Holstein (3.8%) fue ligeramente menor que en la leche de vacas tipo mestizo (4.0%).

En el análisis de regresión multietápica, que sólo explicó un 20% de la variación total en grasa de la leche, se encontró que únicamente coeficientes de regresión en el modelo asociados con tercio de lactancia y grupo racial fueron diferentes ($P < 0.0001$) de cero. Con base en estos resultados no es fácil definir si es o no necesario medir grasa en la leche en ensayos de evaluación de pasturas en fincas. Se podría argumentar que para disminuir la variación en producción de leche debido a tipos raciales, estado de lactancia y, posiblemente, época del año, sería conveniente corregir la leche por grasa. Esta decisión estará, en gran medida, condicionada a la facilidad de realizar los análisis de grasa en la leche y a los costos que involucra.

Fuentes de Variación de Nitrógeno Ureico en Leche (MUN)

Algunos investigadores han propuesto que el nitrógeno ureico en sangre (BUN) o en leche (MUN) podría ser un buen indicador nutricional (Oltner y Wiktorsson, 1983). Específicamente, resultados experimentales han mostrado que los niveles de BUN o de MUN reflejan el balance de proteína degradable y energía fermentable en el rumen (Broderick, 1995). Hammond et al. (1993) en una finca comercial en Florida, E.U., demostraron la utilidad de BUN como guía para la suplementación de proteína a vacas de carne.

Por lo anterior, se consideró de interés medir el MUN y el BUN en vacas en pasturas tropicales contrastantes. Un primer análisis mostró una alta correlación ($r = 0.98$, $P < 0.01$) entre BUN y MUN en vacas en pastoreo, como lo reportó Broderick (1995).

Sin embargo, los valores de BUN estimados con la ecuación de regresión lineal ajustada a los datos fueron ligeramente mayores que los de MUN. En otros estudios en los que se hizo monitoria a través del día de BUN y de MUN, se determinó que los valores de este último pueden ser 3 ó 4 mg/dL mayores o menores que los del primero, dependiendo de la frecuencia de alimentación de las vacas y tiempo de muestreo (Gustafsson y Palmquist, 1993).

En el análisis se trataron de definir fuentes y magnitud de la variación asociada con concentración de MUN en pasturas tropicales. Los niveles de éste en los ensayos de pastoreo variaron debido al tipo de gramínea (entre 7 y 29 mg/dL), presencia o ausencia de leguminosa (entre 11 y 20 mg/dL) en la pastura, grupo racial (entre 15 y 21 mg/dL) y condición climática (entre 13 y 20 mg/dL). No obstante, la variación en el nivel de MUN debida a factores alimenticios fue mayor que la debida a grupo racial o condición climática, como lo indican los coeficientes del modelo de regresión en el Cuadro 4.

El nivel promedio de MUN fue mayor en gramíneas fertilizadas con N (29 mg/dL) que

Cuadro 4. Fuentes de variación asociadas con el nivel de N ureico (MUN) en la leche de vacas en sistema secuencial de pastoreo (ajuste previo de 7 días).

Fuentes de variación	Coefficiente de la regresión ^{a, b}	Significancia
Pastura:		
Presencia de <i>P. maximum</i> ^c	18.1	0.0001
Presencia de leguminosa	9.8	0.0001
Balance hídrico:		
Presencia de lluvia	3.6	0.05
Grupo racial:		
Presencia de vacas tipo Holstein	-2.4	0.05

a. Análisis de regresión multietápica utilizando variables "dummy" (ausencia o presencia).

b. R² del modelo de regresión = 0.50.

c. Fertilizado con 100 kg/ha de N.

en gramíneas no fertilizadas (7.0 mg/dL) y en pasturas con leguminosas (20 mg/dL), en comparación con pasturas de la gramínea sola (11 mg/dL). Además, el nivel de MUN fue mayor en vacas mestizas (21 mg/dL) que en vacas tipo Holstein (15 mg/dL) y en época de máxima precipitación (20 mg/dL) que en época de mínima precipitación (13 mg/dL).

En la literatura revisada no se encontraron informes sobre niveles o fuentes de variación de BUN o MUN con vacas de doble propósito bajo pastoreo en condiciones tropicales. Sin embargo, trabajos realizados en zonas templadas y subtropicales también han mostrado que los niveles de BUN en bovinos varían, principalmente, como resultado de factores alimenticios —concentración de energía y proteína del alimento, degradabilidad de la proteína y nivel de consumo (Hammond, 1983). Otros factores animales asociados con variación de BUN en vacas son: salud, estado fisiológico, nivel de producción y preñez (Peterson y Waldern, 1981). Además, algunos autores han reportado que el BUN puede variar debido a raza; por ejemplo, se ha encontrado que el nivel de BUN fue menor en vacas Herdford, en comparación con vacas Senepol (Hammond et al., 1993) o vacas Brahman (Hunter y Siebert, 1985), lo cual concuerda con el menor nivel de MUN en vacas tipo Holstein que en vacas tipo Mestizo, encontrado en el presente estudio.

Con base en el análisis realizado y en concordancia con otros estudios, es evidente que el nivel de MUN de vacas en pastoreo cambia debido, principalmente, a factores alimenticios (leguminosas en la pastura, fertilización nitrogenada de gramíneas). Sin embargo, si se quiere utilizar el MUN como guía para suplementar vacas en sistemas doble propósito o para explicar retrospectivamente resultados de ensayos de alimentación, será necesario tener en cuenta que su concentración también puede variar por efecto de grupo racial, condición climática, estado de lactancia y preñez.

Frecuencia de Medición de MUN

En los experimentos de pastoreo incluidos en el análisis se analizó MUN los días 1, 4 y 7 de pastoreo. En consecuencia, fue posible establecer el grado de asociación entre niveles de MUN medidos en diferentes días. Los resultados mostraron una alta correlación ($r = 0.88$, $P < 0.0001$) entre MUN medido en el último día de pastoreo (Y) con MUN medido en el primer día de pastoreo (X) ($Y = 1.32 + 0.88X$, $P < 0.01$). La correlación entre MUN del séptimo y el cuarto día de pastoreo fue, aún, más alta ($r = 0.92$, $P < 0.0001$), siendo la pendiente de la regresión lineal (0.99) no diferente ($P > 0.01$) de 1. Sin embargo, dentro del rango de MUN medido en los ensayos (entre 7 y 29 mg/dL), el nivel de MUN del primer día de pastoreo fue, en promedio, 2 mg/dL más alto que en los días 4 y 7 de pastoreo. Por tanto, se sugiere que para tener valores representativos se debería medir MUN en muestras de leche tomadas al comienzo (día 1 ó 2) y final (día 6 ó 7) de ocupación de las pasturas en evaluación.

Algunos resultados que no se presentan en este artículo, muestran que el nivel de MUN fue, en promedio, 1 mg/dL mayor en muestras de leche tomadas en la tarde que aquellas tomadas en la mañana, lo cual sugiere que en fincas donde se practica doble ordeño es recomendable medir MUN, tanto en la leche obtenida en el ordeño de la mañana como en la tarde. Por otra parte, en estudios con vacas suplementadas se estableció que el nivel más representativo de MUN se obtenía a la hora del ordeño antes de suministrar el suplemento, o entre 6 y 7 horas después de suministrar suplemento a las vacas (Gustafsson y Palmquist, 1993). Estos resultados podrían servir como guía para determinar cuándo medir MUN en fincas con ganado de doble propósito que hacen un solo ordeño y tienen programas de suplementación.

Efecto de Secuencia de Rotación y Ajuste en la Producción de Leche

En el análisis se trató de definir si el orden de entrada de las vacas de ordeño a las pasturas en evaluación afectaría los rendimientos de leche y, además, si era necesario tener días de acostumbramiento o ajuste antes de la fase de medición.

Efecto de la secuencia de rotación

En el Cuadro 5 se presentan las diferencias en producción de leche de vacas Holstein debido al tipo de pastura en dos secuencias de rotación: (1) rotación de una

Cuadro 5. Cambios en producción de leche con vacas Holstein en secuencias contrastantes de pastoreo de gramíneas (G) y gramíneas en asociación con leguminosas (G + L).

Expto. no.	Secuencias de pastoreo			
	G - G + L ^a	Sig.	G + L - G ^b	Sig.
	(Diferencia, lt/vaca)		(Diferencia, lt/vaca)	
1	+3.6	***	-0.2	ns
2	-0.1	ns	-3.2	**
3	+0.4	ns	-2.3	***
4	-1.2	**	-1.5	***
5	-0.4	ns	-1.1	*
6	-0.3	ns	-1.5	***
7	+0.7	*	-1.1	***
8	+1.5	**	-2.5	***
9	+1.5	***	-2.6	***
10	+1.3	***	-2.4	***
11	+0.8	*	-3.3	***
12	+0.8	*	-3.4	***
13	+1.1	***	-0.5	*
14	-0.6	ns	-0.6	*
15	+0.8	**	-3.4	***
Promedio	+0.7		-2.0	

a. Rotación de gramínea a gramínea/leguminosa.

b. Rotación de gramínea/leguminosa a gramínea.

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.0001$; ns = no significativo.

pastura de gramínea a una pastura de gramínea/leguminosa, y (2) rotación de una pastura de gramínea/leguminosa a una pastura de gramínea. Los resultados muestran que la producción de leche bajó consistentemente a través de experimentos, cuando las vacas rotaron de la asociación con leguminosa a la gramínea pura. Sin embargo, al cambiar las vacas de la pastura de gramínea sola a la pastura con leguminosa, la leche aumentó significativamente en unos experimentos, pero en otros no.

Por otra parte, las diferencias en producción de leche debidas a la presencia de leguminosa en la pastura, fueron consistentemente mayores cuando se cambiaron las vacas de la pastura de gramínea/leguminosa a la pastura de gramínea sola (-2 lt/vaca), que en la rotación contraria (+0.7 lt/vaca). Es decir, la producción de leche fue más sensible cuando se cambiaron las vacas de una pastura de buena calidad a una pastura de inferior calidad. Este efecto de secuencia de rotación de pasturas en producción de leche podría estar asociado con consumo y selectividad de componentes de la pastura, como la leguminosa.

En general, los resultados sugieren que con vacas sensibles, especialmente Holstein, a cambios en condición—cantidad y calidad de forraje en oferta—de las pasturas, el orden de rotación de los animales puede afectar en forma muy significativa la respuesta o posibilidad de detectar diferencias en producción de leche entre pasturas.

Efecto de días de ajuste

Como se indicó anteriormente, en los experimentos de pastoreo analizados se utilizó una fase de ajuste de 7 días antes de la medición de producción de leche. El objetivo de este periodo de ajuste fue permitir que los animales se acostumbraran al área de pastoreo y, además, eliminar los efectos residuales de la pastura anterior.

Para analizar si es o no necesario dar un periodo de ajuste de por lo menos 7 días, se compararon los promedios de rendimiento de leche de vacas Holstein en las fases de ajuste y medición en pasturas contrastantes. Los resultados que aparecen en el Cuadro 6 muestran que, en ocho de los 15 experimentos (53%) incluidos en el análisis, la producción de leche en la gramínea sola fue mayor ($P < 0.05$ a 0.001) en la fase de ajuste que en la de medición. En contraste, en pasturas de gramínea/leguminosa se encontró que en seis de los 15 experimentos (40%), la producción de leche fue menor ($P < 0.05$ a $P < 0.0001$) en la fase de ajuste que en la de medición.

Estos resultados sugieren que en sistemas secuenciales de pastoreo sin periodos de ajuste de por lo menos 7 días, se podría sobrestimar la producción de leche en las pasturas de gramínea sola y subestimar la leche producida en las asociaciones con leguminosas. Obviamente, si éste fuera el caso, en la interpretación de los resultados se minimizaría el efecto de las leguminosas en la producción de leche. Por ejemplo, si en los experimentos incluidos en el análisis no se hubiera permitido un periodo de ajuste de 7 días, el efecto promedio de la leguminosa en producción de leche hubiera sido únicamente de 3%. Sin embargo, al considerar el periodo de ajuste, las pasturas con leguminosas produjeron, en promedio, 15% más leche que las pasturas de gramínea sola.

Recomendaciones Metodológicas

Con base en los resultados del análisis de este estudio se derivan algunas recomendaciones metodológicas que podrían ser útiles en la evaluación de pasturas en fincas de ganado doble propósito.

Medición de producción de leche

En los trabajos en fincas se debería incluir en las evaluaciones la pastura del

Cuadro 6. Comparación de promedios de producción diaria de leche de vacas Holstein en las fases de ajuste (A) y medición (M) en un sistema secuencial de pastoreo.

Experimento no.	Pasturas					
	Gramínea			Gramínea/leguminosa		
	A	M	Sig.	A	M	Sig.
	(lt/vaca)			(lt/vaca)		
1	11.5	10.9	ns	12.1	12.9	ns
2	11.8	10.9	ns	12.8	12.3	ns
3	10.4	9.6	ns	11.3	11.7	ns
4	8.8	7.8	*	8.8	9.3	*
5	5.7	4.8	*	5.0	4.9	ns
6	9.6	9.0	**	9.1	9.2	ns
7	7.1	6.2	*	6.7	7.0	ns
8	9.6	9.2	ns	9.7	9.8	ns
9	6.1	5.1	**	6.9	7.4	**
10	7.2	6.3	***	8.1	8.5	**
11	5.0	4.8	ns	5.4	6.1	***
12	13.2	12.0	***	13.0	13.9	***
13	10.3	8.9	***	11.3	11.1	ns
14	10.1	11.1	**	10.5	11.3	***
15	10.9	10.8	ns	11.1	10.8	ns
Promedio	9.2	8.5	—	9.5	9.8	—

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; ns = no significativo.

productor (control negativo), junto con la pastura de gramínea sola introducida y gramínea asociada con leguminosas.

El área en fincas que se establecerá con especies introducidas dependerá, en gran medida de: (1) el terreno disponible, (2) la disponibilidad de semilla, (3) el número de vacas en ordeño, (4) la capacidad estimada de carga de las nuevas pasturas en épocas de lluvia y seca, y (5) el manejo del pastoreo que utiliza el productor teniendo en cuenta los periodos de ocupación y descanso y el área para ajuste y medición.

La medición de leche en las pasturas bajo evaluación se debería hacer con un mínimo de 7 días de ajuste previo y rotando las vacas de la pastura con mejores atributos forrajeros; por ejemplo las asociación de gramínea/leguminosa, a la pastura con menores atributos forrajeros como gramínea introducida y gramínea del productor. Para permitir a las vacas una fase de acostumbramiento o ajuste será

necesario dividir en partes iguales el área de las pasturas bajo evaluación, utilizando, de ser posible, cercas eléctricas para abaratar costos.

La frecuencia de medición de leche dependerá del potencial de producción de las vacas en la finca, y de la condición de la cantidad y calidad de las pasturas. Con vacas de alto o mediano potencial de producción (5-10 lt), sería necesario medir la producción de leche al inicio, en la mitad y al final del pastoreo (previo ajuste), especialmente en pasturas con cantidad y calidad de forraje limitante —pastura con gramínea introducida y gramínea del productor. Con vacas de menor potencial de producción (3-5 lt) se podría medir la leche al inicio y final del pastoreo (previo ajuste), independientemente de la condición de las pasturas.

Para el análisis e interpretación de los datos de producción de leche obtenidos en las fincas en pasturas contrastantes, sería

conveniente separar los efectos animales, tales como grupo racial, número de partos y tercio de lactancia, tanto en la época lluviosa como en la seca. Además, los datos de producción diaria de leche por vaca en cada pastura bajo evaluación podrían utilizarse para construir curvas de lactancia. Para tal efecto, es necesario tener la fecha de parto de las vacas y las correspondientes a las mediciones de leche en cada pastura.

Medición de MUN

Para el diseño estratégico de la suplementación y la interpretación retrospectiva de resultados de producción de leche en pasturas contrastantes en fincas, se podría medir nitrógeno ureico en la leche (MUN). El nivel de MUN se debería medir, por lo menos, al inicio y final de pastoreo en muestras individuales tomadas al momento del ordeño y antes de suministrar suplementos. Sería, además, aconsejable separar en el análisis de los datos de MUN los efectos asociados no sólo con las pasturas o suplementos alimenticios, sino también aquellos relacionados con el animal como grupo racial, edad de lactancia, meses de preñez; y condición del clima.

Referencias

- Broderick, G. A. 1995. Use of milk urea as an indicator of nitrogen utilization in the lactating dairy cow. U.S. Dairy Forage Research Center, Research Summaries.
- Gustafsson, A. H. y Palmquist, D. L. 1993. Diurnal variation of rumen ammonia, serum urea and milk urea in dairy cows at high and low yields. J. Dairy Sci. 76:475-484.
- Hammond, A. C. 1983. The use of blood urea nitrogen concentration as an indicator of protein status in cattle. Bovine Pract. 18:114.
- _____; Bowers, E. J.; Kunkle, W. E.; Genho, P. C.; Moore, S. A.; Crosby, C. C.; y Ramsay, R. H. 1993. Use of blood urea nitrogen concentration to determine time and level of protein supplementation in wintering cows. The Professional Animal Scientist 10:24-31.
- Hunter, R. A. y Siebert, B. D. 1985. Utilization of low quality roughage by *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. 2. The effect of rumen degradable nitrogen and sulphur on voluntary intake and rumen characteristics. Br. J. Nutr. 53:649.
- Lascano, C. E. y Avila, P. 1991. Potencial de producción de leche en pasturas solas y asociadas con leguminosas adaptadas a suelos ácidos. Pasturas Trop. 13:2-10.
- Oltner, R. y Wiktorsson, N. 1983. Urea concentration in milk and blood as influenced by feeding varying amounts of protein and energy to dairy cows. Livestock Production 10:459-467.
- Peterson, R. G. y Waldern, D. E. 1981. Repeatabilities of serum constituents in Holstein-Friesians affected by feeding, age, lactation and pregnancy. J. Dairy Sci. 64:822.
- SAS (Statistical Analysis System). 1985. SAS/STAT. Guide for personal computers. Version 6. SAS Institute, Inc., Cary, NC.
- Toledo, J. M. 1985. Pasture development for cattle production in the major ecosystems of the tropical American lowlands. Proceedings of the 15th International Grassland Congress. Kyoto, Japón. p. 74-78.

Uso de Indicadores en la Sangre y la Leche para Determinar el Estado Nutricional y Reproductivo del Ganado Vacuno*

A. C. Hammond y C. C. Chase, Jr.**

Resumen

El nitrógeno ureico en la sangre o en la leche puede ser una herramienta útil para el monitoreo del estado de la proteína y la energía en la dieta y de los cambios de peso y la condición corporal del ganado vacuno. Los análisis de nitrógeno ureico se deben hacer en laboratorio en muestras frescas o conservadas en refrigeración. En vacas sanas o novillos en la etapa de finalización, las concentraciones de nitrógeno ureico menores de 7 mg/dL indican una deficiencia de proteína (nitrógeno) en la dieta en relación con el consumo de la energía digestible. En animales de rápido crecimiento o en vacas lecheras altamente productoras, las concentraciones de nitrógeno ureico menores de 15 mg/dL indican una deficiencia relativa de proteína en la dieta. Las concentraciones de nitrógeno ureico mayores de 19 a 20 mg/dL se han relacionado con bajas tasas de concepción y reducción en la gestación de vacas lecheras. Aún falta más investigación para determinar la concentración de nitrógeno ureico relacionado con el comportamiento óptimo de ganado de doble propósito.

El análisis a nivel de finca de la progesterona en la leche utilizando equipos comercialmente disponibles, puede utilizarse para el diagnóstico temprano de la gestación con una precisión de 80% y para confirmar la no gestación entre 21 y 24 días después del servicio con una precisión aproximada de 100%. La progesterona en la leche también puede utilizarse para confirmar el estro, determinar el ciclo estrual y como una ayuda para diagnosticar e identificar algunas anomalías foliculares y ováricas.

* Trabajo realizado con la colaboración del Instituto de Ciencias Agrícolas y Alimentos de la Universidad de Florida.

** Estación de Investigación Agrícola Subtropical, Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), 22271 Chinsegut Hill Road, Brooksville, FL, E.U.

Introducción

El principal objetivo en este artículo es revisar algunas de las técnicas utilizadas para medir el estado nutricional del ganado vacuno mediante la obtención estratégica de muestras biológicas durante ciclos de producción de los animales y disponibilidad estacional de forraje. Estos indicadores se deben utilizar como un complemento a otras medidas, tales como peso y condición corporal que reflejan los efectos integrados de la nutrición a través del tiempo. Los indicadores metabólicos, por otra parte, pueden utilizarse para evaluar cambios a corto plazo o en tiempo real en el estado nutricional de los animales. En esta discusión se enfatiza en proteína y energía, y se proporciona información que puede ser útil para evaluar cual de estos dos nutrientes es limitativo cuando el ganado está consumiendo forrajes tropicales de calidad variable. Además, como el objetivo de este taller es considerar metodologías para uso con ganado de doble propósito, existe la oportunidad para utilizar los indicadores metabólicos en la leche. La mayoría de las pruebas metabólicas involucran muestreos de sangre, que es una técnica invasiva, mientras que las muestras de leche pueden obtenerse de manera no invasiva y en forma adecuada en el momento del ordeño.

El segundo objetivo en este artículo es discutir algunas oportunidades para medir indicadores del estado reproductivo en ganado de doble propósito, nuevamente con énfasis en indicadores en la leche. En particular, se revisará el análisis e interpretación de niveles de progesterona en la leche.

Indicadores Nutricionales

A menudo, tanto los macro como los microminerales pueden ser deficientes en los forrajes tropicales durante todo el año o parte de él. Por tanto, la corrección de estas deficiencias es, generalmente, la primera prioridad económica, asumiendo que la disponibilidad de forraje no es limitante. Las deficiencias minerales se pueden evitar suministrando a voluntad una mezcla

completa de sales mineralizadas y, en caso de ser necesario, se agrega vitamina A, especialmente cuando no hay forraje verde disponible. Las deficiencias minerales específicas debidas a la región geográfica, tipo de suelo y especie forrajera se pueden predecir mediante el análisis del contenido mineral del forraje. Cuando es necesario, el nivel de los minerales en el ganado se puede evaluar mediante el análisis en la sangre, en muestras de hígado obtenidas por biopsia, o en el pelo.

Una vez que los requerimientos minerales del ganado en pastoreo en forrajes tropicales han sido satisfechos, la proteína y la energía se convierten en prioritarias. Cuando la calidad del forraje es baja, una deficiencia en el consumo de proteína puede limitar la utilización de materia seca (MS) y el consumo de forraje. Sin embargo, la suplementación de proteína al ganado que consume forraje de baja calidad —bajo en contenido de proteína y energía— puede aumentar o no el consumo de MS, dependiendo de la relación energía:proteína en el forraje. Expresado como materia orgánica digestible:proteína cruda (MOD:PC), la relación óptima es aproximadamente 7:1 (Moore et al., 1995). En condiciones de pastoreo, donde la calidad del forraje cambia con el tiempo, es difícil evaluar la relación de MOD:PC del forraje consumido; igualmente, no es posible conocer el consumo exacto de forraje. En consecuencia, las decisiones sobre manejo de la nutrición se deben tomar sin esta información. El peso y la condición corporal pueden indicar con el transcurso del tiempo qué nutrientes han sido deficientes; pero sin el conocimiento de la composición y el consumo de forraje, no es posible predecir con certeza los cambios en la respuesta a la suplementación o en los componentes del forraje de la dieta. En esta situación, un indicador metabólico del estado de la proteína y de la energía podría ser útil para la toma de decisiones sobre el manejo de la nutrición. Un ejemplo de dicho indicador es el nitrógeno ureico en la sangre (BUN, su sigla en inglés) o en la leche (MUN, su sigla en inglés).

Nitrógeno en la sangre (BUN) y en la leche (MUN)

La proteína en la dieta de rumiantes se degrada en el rumen o pasa al abomaso e intestino delgado donde se degrada a aminoácidos y péptidos que son absorbidos al sistema sanguíneo. El nitrógeno de la proteína degradada en el rumen se utiliza para la síntesis de proteína microbiana, mediante la incorporación de aminoácidos libres o péptidos pequeños liberados por el proceso de proteólisis o la incorporación de nitrógeno amoniacal resultante de la deaminación de los aminoácidos. El nitrógeno no proteico (NNP), por ejemplo, la urea, también puede transformarse en el rumen en proteína microbiana mediante la conversión enzimática o la descomposición del NNP en amonio. La producción de proteína microbiana en el rumen se maximiza cuando la relación de energía disponible (materia orgánica fermentable) de proteína es óptima. Cuando en el rumen hay un exceso de nitrógeno en relación con la energía, la concentración de amonio ruminal aumenta, y la parte de éste que no se utiliza entra a la corriente sanguínea a través de la pared del rumen, siendo transportada al hígado donde es destoxificada mediante conversión a urea. El hígado también produce urea mediante la deaminación que se produce a partir de la digestión posruminal y el intercambio sistémico de proteína. La urea, una vez en la sangre, pasa a los riñones y es excretada por la orina o puede retornar al rumen por difusión del torrente sanguíneo, de la saliva al rumen, o de la sangre a la leche, en el caso de vacas lactantes. Cuando hay una deficiencia de proteína en el rumen, la concentración de amonio ruminal es relativamente baja y aumenta la proporción de nitrógeno en forma de urea que es reciclado al rumen. Como resultado de estos procesos metabólicos, la urea en la sangre (BUN) es altamente correlacionada con el amonio ruminal (Thornton, 1970; Hammond, 1983a; Hennessy y Nolan, 1988) y con la urea en la leche (MUN) (Roseler et al., 1993; Baker et al., 1995; Butler et al., 1996). En consecuencia, en rumiantes sanos, las concentraciones de BUN y MUN son indicativas de la relación proteína:energía en

la dieta, o sea, la relación MOD:PC; en consecuencia, con base en esta discusión, los factores que afectan las concentraciones de BUN pueden tener efectos similares sobre las concentraciones de MUN.

Factores alimenticios y nutricionales que afectan el BUN y el MUN en animales bajo sistemas de alimentación controlados.

Cuando el consumo de energía se mantiene constante, el incremento en la proteína de la dieta aumenta la concentración de BUN. Hammond (1983a, 1983b), al suministrar 5 kg/día de una dieta de igual contenido de calorías y tres niveles de PC, encontró que el promedio de la concentración de BUN en novillos aumentó de 2.6 a 11.1 mg/dL cuando la PC se incrementó de 6% a 18%. Para novillos en crecimiento, los niveles de BUN entre 11 y 15 mg/dL se relacionaron con tasas máximas de ganancia de peso (Byers y Moxon, 1980). En novillos de engorde, el máximo desarrollo se relacionó con concentraciones del BUN entre 7 y 8 mg/dL (Preston et al., 1978). Dietas balanceadas suministradas a vacas lactantes se relacionaron con promedios de concentraciones de BUN de 15 mg/dL (Roseler et al., 1993) y de 15 a 16 mg/dL (Baker et al., 1995).

El aumento en solubilidad o degradabilidad de la proteína de la dieta está relacionado con la mayor concentración de amonio ruminal que resulta en mayores concentraciones de BUN. En novillos alimentados con dietas isocalóricas que difirieron ampliamente en la solubilidad de nitrógeno, se encontraron, en promedio, diferencias superiores a 6 mg/dl de BUN (Hammond, 1983a, 1983b). Igualmente, en novillos alimentados con dietas a base de maíz y cascarilla de algodón se encontraron mayores concentraciones de BUN cuando se suplementó urea que cuando se suministró harina de soya (Burris et al., 1975). En vacas lecheras lactantes, un desbalance en el consumo de proteína degradable y no degradable aumentó el BUN y el MUN (Roseler et al., 1993). En forma similar, un desbalance en proteína degradable y no degradable en el rumen incrementó el BUN y el MUN en el mismo tipo de animales, pero

este aumento no fue mayor que el causado por el exceso de PC (Baker et al., 1995). Sin embargo, los cambios en la solubilidad del nitrógeno de la dieta como resultado de los cambios en la fuente de este nutriente no siempre han resultado en alteraciones de la concentración de BUN. En un estudio con novillos de 1 año de edad alimentados con una dieta a base de ensilaje de maíz y suplementados con harina de soya o urea para llenar el 85% ó 100% de sus requerimientos de PC, se encontró que las concentraciones del BUN no difirieron entre fuentes de proteína (Cross et al., 1974). Asimismo, se encontró que la concentración de BUN era similar en vacas lecheras lactantes alimentadas con dietas que contenían 16% de PC a base de harina de soya sin tratar o tratada con formaldehído (Folman et al., 1981).

Se esperaría una reducción en BUN a medida que aumenta el consumo de energía en la dieta y permanece constante el consumo de proteína. Esto se demostró en un experimento con toros en el cual las dietas se formularon en raciones para proporcionar 75% ó 150% de los requerimientos de energía de mantenimiento, pero el consumo de PC permaneció constante (Chase et al., 1993). En el nivel alto de consumo de energía, el promedio de BUN fue de 5.6 mg/dL y en el bajo fue de 19.7 mg/dL.

Por otra parte, parece que el efecto del aumento en el nivel de consumo en la concentración de BUN es similar al efecto asociado con un mayor consumo de energía. Así, en novillos que consumían forrajes de alta calidad (heno de leguminosa, 24% de PC) y de baja calidad (heno de gramíneas, 4.5% de PC) se encontró que el BUN se redujo a medida que el consumo aumentó (Vercoe, 1967). La mayor frecuencia de alimentación se ha relacionado con valores menores de BUN (Thomas y Kelly, 1976), probablemente debido al uso más eficiente de nitrógeno en el rumen.

Factores de la dieta y la nutrición que afectan el BUN y el MUN en ganado en pastoreo o alimentado con forraje a libre disposición. El número de trabajos

relacionados con el BUN y el MUN que aparece publicado en la literatura es menor en el caso de ganado en pastoreo que en condiciones de estabulación. La predicción de respuesta a la suplementación proteica o energética en pastoreo utilizando el BUN es difícil, debido a que en estas condiciones no se conoce el consumo de forraje y éste varía entre animales. No obstante, aunque no se conoce el consumo de energía ni de proteína por el ganado a libre pastoreo, la relación proteína:energía en la dieta debe reflejarse en la concentración de BUN o MUN.

Para determinar si el BUN podría predecir la respuesta biológica —cambio en el promedio de la ganancia diaria de peso— se analizaron los datos correspondientes a ocho ensayos realizados en Florida con animales en pastoreo, en los cuales se suplementó proteína sola o con energía a novillos y terneros en pasturas de *Paspalum notatum* y *Hemarthria altissima* (Hammond et al., 1993). En total se compararon 14 tratamientos de suplementación de proteína y varios testigos, encontrándose que los cambios en ganancia de peso (-0.05 a 0.30 kg/día) debidos a la suplementación proteica se relacionaban en forma lineal ($r = 0.69$) con la concentración de BUN (6.2 a 15.5 mg/dL) en los animales testigo. Las concentraciones de BUN entre 9 y 12 mg/dL constituyeron un rango de transición por debajo del cual la respuesta, en términos de ganancia de peso vivo, a la suplementación proteica fue mayor, y por encima fue menor que aquella obtenida dentro de este rango. Al analizar la respuesta obtenida en tratamientos de suplementación de energía y los testigos respectivos, se encontraron respuestas positivas en ADG cuando se suplementó energía dentro del rango de control del BUN (9.6 a 17.6 mg/dL). Estas concentraciones relativamente altas de BUN indicarían un exceso de proteína (nitrógeno) en la dieta relacionado con el consumo de energía digestible, indicando que la respuesta positiva a suplementación de energía fue la esperada.

Un ensayo similar se realizó en Australia (Hennessy y Williamson, 1990), utilizando novillos y novillas alimentadas con heno de

Axonopus affinis. La concentración de BUN en animales alimentados con la dieta basal era, en promedio, de 2.1 mg/dL, que se aumentó a 10.5 mg/dL mediante la suplementación de urea, o a 8.5 mg/dL con suplementación de caseína protegida. Estos aumentos en BUN se relacionaron con aumentos significativos de ganancia de peso (desde 0.1 kg/día con el heno solo hasta 0.3 kg/día con el heno suplementado con urea, y 0.6 kg/día con el heno suplementado con caseína protegida). Los resultados anteriores sugieren que el nitrógeno suplementado en la forma de caseína protegida, el cual es menos degradable, se utilizó en forma más eficiente, resultando en un mayor aumento de peso y un menor incremento de BUN, comparado con la suplementación con urea.

La fertilización nitrogenada de las pasturas puede afectar el BUN en los animales en pastoreo, debido al aumento del contenido de nitrógeno en el forraje. Carver et al. (1978) encontraron en pasturas de *Cynodon dactylon* cv. Midland que la aplicación anual entre 0 y 448 kg/ha de N ocasionó un aumento lineal del BUN en novillos. Aunque no se presentan los datos de ganancia de peso de estos animales, al combinar los resultados de este trabajo con los obtenidos en *C. dactylon* común y en pasturas asociadas de *Dactylis glomerata*-*Trifolium repens*, se encontró una correlación positiva entre el BUN y la ganancia de peso ($r = 0.53$). Por otra parte, al aumentar la dosis de N aplicada en pasturas de *H. altissima* de 50 a 150 kg/ha, el BUN en novillas de 1 año de edad aumentó de 4.2 a 9.2 mg/dL y el promedio de la ganancia diaria de peso pasó de 0.06 a 0.36 kg (Lima et al., 1994; Lima 1995).

La incorporación de una leguminosa puede ser una manera efectiva de aumentar el contenido proteico de dietas basadas en forrajes. En la estación experimental CIAT-Quilichao, Cauca, Colombia, el promedio del MUN en vacas fue mayor en pasturas de gramíneas con una leguminosa asociada (*Centrosema acutifolium* o *C. macrocarpum*) que en pasturas de gramíneas solas

(*Brachiaria dictyoneura* o *Andropogon gayanus*) (19.6 vs. 6.7 mg/dL) (Lascano et al., 1990). Los resultados de 1 año de evaluaciones mostraron que la incorporación de estas leguminosas incrementó la producción de leche en 20% durante la estación lluviosa y en 40% en la estación seca. En forma similar, se encontró una mayor concentración de BUN y ganancia de peso en novillos que pastoreaban continuamente *P. notatum*-*A. glabrata*, en comparación con la gramínea sola (Williams et al., 1991). En este ensayo, debido a una diferencia en el porcentaje de la leguminosa en la pastura entre años (26% vs. 45%), se encontró una interacción significativa de tratamiento x año para BUN y para la ganancia diaria de peso, siendo, respectivamente, 16.6 y 23.5 mg/dL y 0.7 y 0.9 kg/día en la pastura asociada, y 9.7 y 8.5 mg/dL y 0.5 y 0.5 kg/día en la gramínea sola. Igualmente, en Florida se encontró que novillos en pasturas de *H. altissima*-*Aeschynomene americana* aumentaban diariamente más de 1.15 kg/ha de peso vivo y su BUN era de 11 mg/dL, mientras que en la gramínea sola ganaban 0.64 kg/ha y su BUN era de 6 mg/dL (Holderbaum et al., 1991).

Otros factores que afectan el BUN y el MUN. Existen otros factores de la dieta que, además de la eficiencia de utilización de la proteína y la relación MOD:PC, también pueden afectar las concentraciones del BUN. La adición de azufre a dietas de ovinos y vacunos con deficiencia en este nutrimento resultó en concentraciones reducidas del BUN que se relacionaron con un aumento en el desempeño animal (Kennedy y Siebert, 1972). Además, la salud y el estado fisiológico del animal, el uso de promotores de crecimiento y la raza animal influyen en las concentraciones de BUN. No obstante, la magnitud de las diferencias ocasionadas por estos factores, excepto por ciertas condiciones de enfermedad es, en general, menor que la diferencia debida a los factores de la dieta mencionados anteriormente. Un estrés nutricional severo, como resultado de un bajo nivel de nutrición (Ward et al., 1992; Hayden et al., 1993) o la presencia de enfermedades, puede causar un catabolismo

de la proteína del tejido y dar como resultado altas concentraciones de BUN, de la misma manera que una enfermedad renal puede interferir con la excreción de urea y dar lugar a concentraciones altas de BUN. En vacas lecheras, el BUN aumenta a medida que avanzan desde el estado seco hacia el estado de lactancia temprana y durante el periodo de preñez; de la misma manera, el BUN aumenta con la edad de las vacas (Peterson y Waldern, 1981).

En ganado de carne, el uso de promotores de crecimiento generalmente disminuye las concentraciones de BUN (Eisemann et al., 1989; Galbraith, 1980; Preston et al., 1978). El uso de aditivos en la alimentación, como el rumesín para aumentar la eficiencia alimenticia, no ha ocasionado cambios en el BUN (Steen et al., 1978) o éstos no han sido significativos (Raun et al., 1976; Thompson y Riley, 1980). Se han observado concentraciones inferiores de BUN en vacas Hereford en comparación con vacas Senepol (Hammond, 1992), y en toros Angus comparados con toros Senepol (Chase et al., 1993), lo cual sugiere diferencias en utilización de proteína entre razas. En forma similar, se han observado concentraciones menores de BUN en animales Hereford comparados con animales Brahman (Hunter y Siebert, 1985), en Angus comparados con Brahman (Olbrich, 1996), y en los cruces de Angus x Hereford comparado con los cruces Brahman (Coleman y Frahm, 1987).

Usos del BUN y el MUN. La aplicación más común de estos indicadores nutricionales es el diagnóstico retrospectivo para analizar la respuesta biológica a la suplementación de proteína o de energía y a los cambios en el manejo de la pastura o en el forraje en oferta. En Brooksville, en un estudio de 2 años de duración se hizo un seguimiento al BUN en vacas y novillas alimentadas en la época de invierno con heno de *P. notatum* y suplementadas con melaza y heno de la gramínea más *A. glabrata*, o con bloques de melaza y 20% de PC (Hammond et al., 1992). La concentración de BUN fue igual en animales alimentados con 2.3 kg/día de heno de la

gramínea-*A. glabrata* y con 0.9 kg/día de las pacas de melaza y proteína. Lo más importante fue que las concentraciones del BUN (3.7 mg/dL al inicio de enero) indicaron que la suplementación proteica no se hacía lo suficientemente temprano en el invierno y que en la primavera se suplementaba más proteína de lo necesario (16.3 mg/dL de BUN al final de abril). Los cambios estratégicos apropiados en el programa invernal de suplementación han resultado en aumentos posteriores de la eficiencia biológica y económica del uso de los suplementos.

Otro enfoque posible del uso del BUN y el MUN es el ajuste del tiempo real en alimentación o manejo del pastoreo. Este enfoque se probó en una hacienda comercial en Florida (Hammond et al., 1994), comparando el comportamiento de vacas especializadas para producir carne, alimentadas en la época de invierno con un programa predeterminado de suplementación estándar, y vacas en condiciones similares, pero suplementadas cada 3 semanas con niveles de proteína según las concentraciones del BUN. El tratamiento testigo consistió en el suministro de un suplemento en forma de pacas de harina de semilla del algodón (33% de PC) y melaza, según las normas de alimentación del ganado en la hacienda. El tratamiento basado en el BUN fue similar al testigo, excepto que el tiempo y la cantidad de suplemento en forma de pacas se basaron en los resultados del análisis del BUN. Para el suministro del suplemento se tomó como base un promedio de < 7 mg/dL en el BUN de la muestra del hato, o < 6 mg/dL en el 25% de las vacas en la muestra. Las vacas en las cuales se hizo monitoreo del BUN recibieron menos suplemento que las testigo (41.2 vs. 51.5 kg/vaca), sin que esto afectara los pesos al destete o el porcentaje de vacas preñadas.

Determinación del BUN y el MUN

A menudo, el BUN se utiliza como un término genérico para plasma, suero y total de nitrógeno ureico en la sangre, aunque pueden ocurrir diferencias pequeñas en los valores, dependiendo del método de muestreo

(Hammond, 1983b, 1992). La urea en la leche (MUN) se puede medir con los mismos procedimientos analíticos utilizados para medir el BUN. En el laboratorio se puede utilizar un procedimiento colorimétrico automatizado basado en el método de monóxido diacetil (Marsh et al., 1965) que incluye un proceso de diálisis para remover proteínas. Si se utiliza un método manual de este procedimiento colorimétrico, es necesario hacer una desproteinización. Alternativamente, la urea puede medirse mediante análisis de la concentración de amonio antes y después de la incubación con ureasa. El amonio puede ser cuantificado mediante titulación o por colorimetría. En muestras de leche también puede ser necesario eliminar la grasa mediante centrifugación. A menudo se usan aditivos para preservar las muestras lácteas, pero éstos quizás no sean necesarios si las muestras se mantienen refrigeradas (Miettinen y Juvonen, 1990; Butler et al., 1996). Se ha evaluado un indicador comercial producido por Azotest, Compagnie Chimique d'Aquitaine, Lalande de Pomerol, Francia, pero sólo ha dado resultados semicuantitativos (Butler et al., 1996). En EE.UU., algunos laboratorios ofrecen análisis de MUN y otros componentes de la leche, mediante el uso de técnicas infrarrojas.

El tiempo durante el cual se hace el muestreo es una consideración importante en la determinación del BUN y el MUN. La concentración máxima del BUN ocurre varias horas después de la alimentación (Thomas y Kelly, 1976; Hammond, 1983b; Elrod y Butler, 1993; Gustafsson y Palmquist, 1993) y los cambios en el MUN en relación con el BUN están desfasados en 1 a 2 horas, aproximadamente (Gustafsson y Palmquist, 1993). En vacas especializadas para producir carne que se suplementaron con harina de algodón dos veces por semana (lunes y jueves), el BUN varió de alto (14 mg/dL), en la tarde del día que se suplementaron, a bajo (7 mg/dL), 2 días más tarde (Figura 1).

Con la alimentación frecuente, sin embargo, hay poca variación diurna (Folman et al., 1981) o nocturna (Thomas y Kelly,

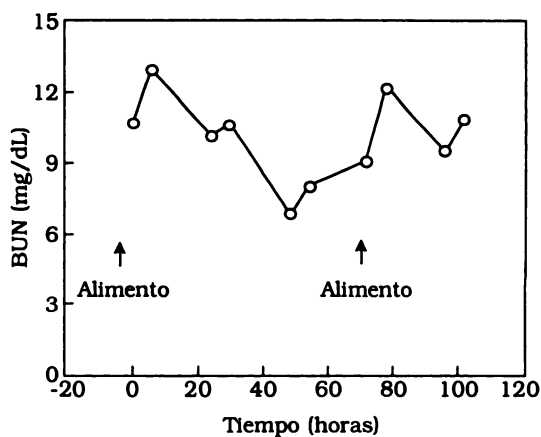


Figura 1. Efecto del tiempo de muestreo en el nitrógeno ureico de la sangre (BUN) en vacas Angus ($n = 7$) suplementadas con harina de semilla de algodón dos veces por semana (lunes y jueves). El suplemento se suministró a las 08:00 h y la muestra de sangre se tomó diariamente a las 09:00 y 15:00 h. (Datos no publicados.)

1976) en BUN. Para controlar estas dos variaciones, se recomienda efectuar el muestreo antes de alimentar el ganado confinado o temprano en la mañana cuando está en pastoreo. Cuando esto no es posible, es importante ser consistente del tiempo de muestreo, especialmente cuando los resultados se van a comparar. En vacas lecheras, las muestras de un solo cuarto y las compuestas de todos los cuartos han dado resultados similares (Gustafsson y Palmquist, 1993; Butler et al., 1996); igualmente, las muestras antes y después del ordeño han dado resultados idénticos (Nebel et al., 1988).

Determinación de otros Metabolitos Sanguíneos

Debido a la disponibilidad de instrumentos de laboratorio que en forma simultánea pueden analizar varios metabolitos sanguíneos, se considera que los perfiles metabólicos son útiles para el seguimiento del estado nutricional del ganado vacuno. Algunos minerales y el BUN se incluyen con

frecuencia en estos perfiles. Otros metabolitos potencialmente útiles y que se han considerado en el seguimiento del estado energético incluyen la glucosa sanguínea, los ácidos grasos no esterificados o no saturados y el β -hydroxybutyrato o quetonas totales. En rumiantes adultos, la glucosa es derivada por gluconeogénesis a partir de propionato y aminoácidos gluconeogénicos. Cuando los animales se encuentran en un estado de equilibrio negativo de energía, movilizan tejidos grasos, dando lugar a un aumento en la concentración de ácidos grasos no saturados y cuerpos de quetona (acetona, acetoacetato y β -hydroxybutyrato) circulantes. Las quetonas también se derivan de ácidos grasos volátiles quetogénicos. Los cambios grandes en las concentraciones de estos metabolitos (reducción en glucosa, aumento en los ácidos grasos no saturados y quetonas) son indicativos de quetosis, pero la variación de estos metabolitos en vacas sanas ha limitado su utilidad como indicadores de su estado energético (Erflé et al., 1974; Stobbs y Brett, 1974; Russel y Wright, 1983).

Indicadores del Estado Reproductivo

Progesterona

El método más frecuentemente utilizado para determinar el estro en vacas es la observación visual del comportamiento sexual, lo cual es lento y puede dar lugar a un número significativo de vacas no detectadas. El método más utilizado para diagnosticar la gestación es la palpación rectal del tracto uterino, el cual puede conducir a errores, en particular cuando la palpación se hace en forma temprana (30 a 45 días después del servicio). Para mejorar el comportamiento reproductivo de las vacas se puede utilizar la progesterona, una hormona esteroide útil para detectar el estro, la gestación de manera temprana y mejorar el comportamiento reproductivo mediante la identificación de vacas con quistes en el folículo o en el cuerpo lúteo. La progesterona es producida por el cuerpo lúteo y, en consecuencia, su concentración en la circulación cambia durante el ciclo estrual y

permanece alta durante la gestación. Al igual que el nitrógeno ureico, las concentraciones de esta hormona en la sangre están altamente correlacionadas con su concentración en la leche. En el ciclo estrual, la concentración de progesterona en la sangre y en la leche de las vacas es baja (< 2 ng/mL) durante los 2 días anteriores al estro y hasta 4 a 5 días después de que éste termina. A través de la fase luteal del ciclo estrual y durante la gestación, la concentración permanece alta (> 4 a 5 ng/mL). El análisis cuantitativo de progesterona en el laboratorio se basa en la técnica radioinmunológica (RIA) y más recientemente en el ensayo de inmunabsorbancia de enzimas ligadas (ELISA, su sigla en inglés). En el comercio existen equipos para prueba ELISA que permiten determinar la proximidad al estro en novillas (Hammond et al., 1996). Para esta determinación se toma como criterio una concentración de progesterona menor de 2 ng/mL en el día de muestreo y mayor de esta concentración 1 semana más tarde. Recientemente en la estación experimental en Brooksville, FL., se ha adaptado la prueba ELISA de Del Vecchio et al. (1995) para uso en el laboratorio.

Durante varios años han estado disponibles en forma comercial varias pruebas de progesterona aplicables a nivel de finca, la mayoría de las cuales se basan en la prueba ELISA de muestras de leche entera. Estas pruebas a nivel de finca distinguen concentraciones de progesterona en la leche mayores o menores que 5 ng/mL; por tanto, pueden utilizarse para la detección del estro y la gestación en vacas lactantes (Nebel, 1988; Thatcher, 1989). Una baja concentración de progesterona en la leche o en la sangre (< 5 ng/mL) puede utilizarse para confirmar el estro. La ocurrencia de alta concentración de la hormona (> 5 ng/mL) en dos muestras de leche y de baja en una muestra dentro de una serie semanal es un indicativo de actividad cíclica. La presencia de baja progesterona en tres muestras semanales sucesivas puede indicar la existencia de quistes foliculares, mientras que niveles altos en vacas no lactantes es un indicativo de persistencia del cuerpo lúteo (Bajema et al., 1994). Niveles altos de progesterona —entre

21 y 24 días después del servicio por inseminación artificial o servicio natural— es un indicativo de gestación con una probabilidad aproximada a 80%, mientras que baja progesterona en este mismo período indica la ausencia de gestación con una probabilidad de 100% (Nebel, 1988; Thatcher, 1989). En consecuencia, las decisiones de manejo basadas en el diagnóstico temprano de ausencia de gestación pueden tomarse con un alto grado de confianza, pero el diagnóstico oportuno de gestación utilizando el nivel de progesterona puede requerir la confirmación posterior mediante palpación rectal.

BUN o MUN altos y disminución en la eficiencia reproductiva

Un alto consumo de proteína (nitrógeno) en la dieta que resulta en concentraciones de BUN o MUN mayores (entre 19 y 20 mg/dL) se ha relacionado con un ambiente uterino alterado y una reducción en la fertilidad de vacas lecheras y en novillas (Elrod y Butler, 1993; Elrod et al., 1993; Ferguson et al., 1993; Butler et al., 1996). Sin embargo, un alto consumo de proteína y alto BUN no siempre se han relacionado con una baja eficiencia reproductiva (Carroll et al., 1988) y, en consecuencia, no es patognomónico.

Referencias

- Bajema, D. H.; Hoffman, M. P.; Aitchison, T. E.; y Ford, S. P. 1994. Use of cow-side progesterone tests to improve reproductive performance of high-producing dairy cows. *Theriogenology* 42:765-771.
- Baker, L. D.; Ferguson, J. D.; y Chalupa, W. 1995. Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:2424-2434.
- Burris, W. R.; Bradley, N. W.; y Boling, J. A. 1975. Growth and plasma amino acids of steers fed different nitrogen sources at restricted intake. *J. Anim. Sci.* 40:714-719.
- Butler, W. R.; Calaman, J. J.; y Beam, S. W. 1996. Plasma and milk urea nitrogen in relation to pregnancy rate in lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 74:858-865.
- Byers, F. M. y Moxon, A. L. 1980. Protein and selenium levels for growing and finishing beef cattle. *J. Anim. Sci.* 50:1136-1144.
- Carroll, D. J.; Barton, B. A.; Anderson, G. W.; y Smith, R. D. 1988. Influence of protein intake and feeding strategy on reproductive performance of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 71:3470-3481.
- Carver, L. A.; Barth, K. M.; McLaren, J. B.; Fribourg, H. A.; Connell, J. T.; y Bryan, J. M. 1978. Plasma urea nitrogen levels in beef steers grazing nitrogen-fertilized bermudagrass and orchardgrass-ladino pastures. *J. Anim. Sci.* 47:927-934.
- Chase, C. C. Jr.; Larsen, R. E.; Hammond, A. C.; y Randel, R. D. 1993. Effect of dietary energy on growth and reproductive characteristics of Angus and Senepol bulls during summer in Florida. *Theriogenology* 40:43-61.
- Coleman, S. W. y Frahm, R. R. 1987. Nitrogen metabolism in crossbred steers with varying levels of Brahman using a nitrogen depletion-repletion regimen. *J. Anim. Sci.* 65:1077-1093.
- Cross, D. L.; Ludwick, R. L.; Boling, J. A.; y Bradley, N. W. 1974. Plasma and rumen fluid components of steers fed two sources and levels of nitrogen. *J. Anim. Sci.* 38:404-409.
- Del Vecchio, R. P.; Sutherly, W. D.; y Connor, M. L. 1995. A solid-phase enzymeimmunoassay for the determination of progesterone in bovine, porcine and ovine plasma. *Can. J. Anim. Sci.* 75:525-529.
- Eisemann, J. H.; Hammond, A. C.; Rumsey, T. S.; y Bauman, D. E. 1989. Nitrogen and protein metabolism and metabolites in plasma and urine of beef steers treated with somatotropin. *J. Anim. Sci.* 67:105-115.
- Elrod, C. C. y Butler, W. R. 1993. Reduction of fertility and alteration of uterine pH in heifers fed excess ruminally degradable protein. *J. Anim. Sci.* 71:694-701.
- _____; Van Amburgh, M.; y Butler, W. R. 1993. Alterations of pH in response to increased dietary protein in cattle are unique to the uterus. *J. Anim. Sci.* 71:702-706.
- Erfle, J. D.; Fisher, L. J.; y Sauer, F. D. 1974. Interrelationships between blood metabolites and an evaluation of their use as criteria of energy status of cows in early lactation. *Can. J. Anim. Sci.* 54:293-303.

- Ferguson, J. D.; Galligan, D. T.; Blanchard, T.; y Reeves, M. 1993. Serum urea nitrogen and conception rate: The usefulness of test information. *J. Dairy Sci.* 76:3742-3746.
- Folman, Y.; Neumark, H.; Kaim, M.; y Kaufmann, W. 1981. Performance, rumen and blood metabolites in high-yielding cows fed varying protein percents and protected soybean. *J. Dairy Sci.* 64:759-768.
- Galbraith, H. 1980. The effect of trenbolone acetate on growth, blood hormones and metabolites, and nitrogen balance of beef heifers. *Anim. Prod.* 30:389-394.
- Gustafsson, A. H. y Palmquist, D. L. 1993. Diurnal variation of rumen ammonia, serum urea, and milk urea in dairy cows at high and low yields. *J. Dairy Sci.* 76:475-484.
- Hammond, A. C. 1983a. Effect of dietary protein level, ruminal protein solubility and time after feeding on plasma urea nitrogen and the relationship of plasma urea nitrogen to other ruminal and plasma parameters. *J. Anim. Sci.* 57(Suppl. 1):435.
- _____. 1983b. The use of blood urea nitrogen concentration as an indicator of protein status in cattle. *Bovine Practitioner* 18:114-118.
- _____. 1992. Use of blood urea nitrogen concentration to guide protein supplementation in cattle. En: 3rd Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. Universidad de Florida, Gainesville, FL, E.U. p. 9-18.
- _____. Bowers, E. J.; Kunkle, W. E.; Genho, P. C.; Moore, S. A.; Crosby, C. E.; y Ramsay, K. H. 1994. Use of blood urea nitrogen concentration to determine time and level of protein supplementation in wintering cows. *Prof. Anim. Scientist* 10:24-31.
- _____. Kunkle, W. E.; Bates, D. B.; y Sollenberger, L. E. 1993. Use of blood urea nitrogen concentration to predict response to protein or energy supplementation in grazing cattle. En: Proc. of the XVII International Grassland Congress. Rockhampton, Australia. p. 1989-1991.
- _____. Olson, T. A.; Chase, C. C., Jr.; Bowers, E. J.; Randel, R. D.; Murphy, C. N.; Vogt, D. W.; y Tetlow, A. 1996. Heat tolerance in two tropically adapted *Bos taurus* breeds, Senepol and Romosinuano, compared with Brahman, Angus, and Hereford cattle in Florida. *J. Anim. Sci.* 74:295-303.
- _____. Padget, L. J.; Williams, M. J.; y Kunkle, W. E. 1992. Relative feeding value of rhizoma perennial peanut hay as a supplement to bahiagrass hay for wintering cows and heifers. *Prof. Anim. Scientist* 8:48-54.
- Hayden, J. M.; Williams, J. E.; y Collier, R. J. 1993. Plasma growth hormone, insulin-like growth factor, insulin, and thyroid hormone association with body protein and fat accretion in steers undergoing compensatory gain after dietary energy restriction. *J. Anim. Sci.* 71:3327-3338.
- Hennessy, D. W. y Nolan, J. V. 1988. Nitrogen kinetics in cattle fed a mature subtropical grass hay with and without protein meal supplementation. *Aust. J. Agric. Res.* 39:1135-1150.
- _____. y Williamson, P. J. 1990. Feed intake and liveweight of cattle on subtropical native pasture hays. 2: The effect of urea and maize flour, or protected-casein. *Aust. J. Agric. Res.* 41:1179-1185.
- Holderbaum, J. F.; Sollenberger, L. E.; Moore, J. E.; Kunkle, W. E.; Bates, D. B.; y Hammond, A. C. 1991. Protein supplementation of steers grazing limpograss pasture. *J. Prod. Agric.* 4:437-441.
- Hunter, R. A. y Siebert, B. D. 1985. Utilization of low-quality roughage by *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle. 2: The effect of rumen-degradable nitrogen and sulphur on voluntary food intake and rumen characteristics. *Br. J. Nutr.* 53:649-656.
- Kennedy, P. M. y Siebert, B. D. 1972. The utilization of spear grass (*Heteropogon contortus*). II. The influence of sulphur on energy intake and rumen y blood parameters in cattle and sheep. *Aust. J. Agric. Res.* 23:45-56.
- Lascano, C.; Rodríguez, J. C.; y Avila P. 1990. Niveles de urea en la leche como un indicativo del consumo de leguminosas tropicales por animales en pastoreo. *Pasturas Tropicales* 12:38-40.
- Lima, G. F. da C. 1995. Nitrogen fertilization and supplementation effects on limpograss chemical characteristics and utilization by cattle. Tesis Ph.D. Universidad de Florida, Gainesville, FL, E.U.

- _____: Sollenberger, L. E.; Kunkle, W. E.; Moore, J. E.; y Hammond, A. C. 1994. Improving limpgrass forage quality and utilization using nitrogen fertilization and supplementation. In: National Conference on Forage Quality, Evaluation, and Utilization. Univ. Nebraska, Lincoln, NE, E.U. p 90.
- Marsh, W. H.; Fingerhut, B.; y Miller, H. 1965. Automated and manual direct methods for the determination of blood urea. J. Clin. Chem. 11:624-627.
- Miettinen, P. V. A. y Juvonen, R. O. 1990. Diurnal variations of serum and milk urea levels in dairy cows. Acta Agric. Scand. 40:289-296.
- Moore, J. E.; Bowman, J. G.; y Kunkle, W. E. 1995. Effects of dry and liquid supplements on forage utilization by cattle. En: Proceedings, AFIA Liquid Feed Symposium, AFIA, Arlington, VA, E.U. p. 81-95.
- Nebel, R. L. 1988. On-farm milk progesterone tests. J. Dairy Sci. 71:1682-1690.
- _____: Altamose, D. L.; Munkittrick, T. W.; Spracher, D. J.; y McGilliard, M. L. 1989. Comparisons of eight commercial on-farm milk progesterone tests. Theriogenology 31:753-764.
- Olbrich, J. F., Jr. 1996. The effect of corn particle size and corn silage level on the performance of Angus (*Bos taurus*) and Brahman (*Bos indicus*) steers. Tesis Ph.D. Universidad de Florida, Gainesville, FL, E.U.
- Peterson, R. G. y Waldern, D. E. 1981. Repeatabilities of serum constituents in Holstein-Friesians affected by feeding, age, lactation, and pregnancy. J. Dairy Sci. 64:822-831.
- Preston, R. L.; Byers, F.; y Stevens, K. R. 1978. Estrogenic activity and growth stimulation in steers fed varying protein levels. J. Anim. Sci. 46:541-546.
- Raun, A. P.; Cooley, C. O.; Potter, E. L.; Rathmacher, R. P.; y Richardson, L. F. 1976. Effect of monensin on feed efficiency of feedlot cattle. J. Anim. Sci. 43:670-677.
- Roseler, D. K.; Ferguson, J. D.; Sniffen, C. J.; y Herrera, J. 1993. Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. J. Dairy Sci. 76:525-534.
- Russel, A. J. F. y Wright, I. A. 1983. The use of blood metabolites in the determination of energy status in beef cows. Anim. Prod. 37:335-343.
- Steen, W. W.; Gay, N.; Boling, J. A.; Bradley, N. W.; McCormick, J. W.; y Pendulum, L. C. 1978. Effect of monensin on performance and plasma metabolites in growing-finishing steers. J. Anim. Sci. 46:350-355.
- Stobbs, T. H. y Brett, D. J. 1974. Milk yield and composition of milk and blood as indicators of energy intake by Jersey cows. Aust. J. Agric. Res. 25:657-666.
- Thatcher, W. W. 1989. Laboratory determination of pregnancy in cattle. En: American Embryo Transfer Association Proceedings of the 8th Annual Convention. American Embryo Transfer Association, Hastings, NE, E.U. p. 39-48.
- Thomas, P. C. y Kelly, M. E. 1976. The effect of frequency of feeding on milk secretion in the Ayrshire cow. J. Dairy Res. 43:1-7.
- Thompson, W. R. y Riley, J. G. 1980. Protein levels with and without monensin for finishing steers. J. Anim. Sci. 50:563-571.
- Thornton, R. F. 1970. Factors affecting the urinary excretion of urea nitrogen in cattle. 2: The plasma urea nitrogen concentration. Aust. J. Agric. Res. 21:145-152.
- Vercoe, J. E. 1967. Breed and nutritional effects on the composition of faeces, urine, and plasma from Hereford and Brahman X Hereford steers fed on high and low quality diets. Aust. J. Agric. Res. 18:1003-1013.
- Ward, J. R.; Henricks, D. M.; Jenkins, T. C.; y Bridges, W. C. 1992. Serum hormone and metabolite concentrations in fasted young bulls and steers. Domestic Anim. Endo. 9:97-103.
- Williams, M. J.; Hammond, A. C.; Kunkle, W. E.; y Spreen, T. H. 1991. Stocker performance on continuously grazed mixed grass-rhizoma peanut and bahiagrass pastures. J. Prod. Agric. 4:19-24.

Uso del Radioinmuno-ensayo de Progesterona para Mejorar la Producción Animal en Sistemas de Doble Propósito

M. García-Podestá*

Resumen

El radioinmuno-ensayo o radioinmuno-análisis (RIA) consiste en una reacción antígeno-anticuerpo en la cual dos antígenos, uno marcado con un isótopo radiactivo y otro sin marcar compiten por sitios de unión de un anticuerpo. El antígeno se marca con un isótopo radiactivo, usualmente ^{125}I en el caso de la progesterona. El análisis de hormonas reproductivas y metabólicas a través del RIA ha permitido el estudio de la fisiología reproductiva de los animales domésticos y la evaluación de su comportamiento reproductivo. El RIA de progesterona, en particular, ha facilitado la realización de estudios del comportamiento reproductivo (inicio de la pubertad, reinicio de la actividad ovárica posparto, concepción), el manejo reproductivo de los animales en fincas (identificación de animales problema, medición de la eficiencia de detección de celos, diagnóstico de gestación); además es un apoyo en el diagnóstico clínico (anestro posparto, disfunciones ováricas) y la medición de la respuesta reproductiva a intervenciones técnicas (tipo de animal, manejo del ternero, tipo y manejo de pasturas, suplemento de concentrados, dietas experimentales). El RIA de progesterona es una técnica sencilla, con alta sensibilidad y precisión que se puede realizar con un mínimo de equipo si se utilizan "kits" comerciales o el kit FAO/OIEA. En la actualidad, existen 48 laboratorios de RIA en América Latina dedicados al apoyo de trabajos de investigación y extensión en producción animal.

* Sección de Producción y Salud Animal, División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en Agricultura, Wagramerstrasse 5, P.O. Box 100, A-1400 Viena, Austria. Fax: +43(1)20607; e-mail: M.Garcia-Podesta@iaea.org

Introducción

Los inmuno-ensayos han sido de especial valor para el estudio de las funciones endocrinas de los órganos reproductivos y de diversos procesos metabólicos, ya que permiten medir con exactitud la dinámica de los cambios hormonales. Además, se han convertido en una poderosa herramienta de laboratorio en la identificación de problemas nutricionales, reproductivos y de manejo a nivel de finca.

El radioinmuno-ensayo o radioinmuno-análisis (RIA) consiste en una reacción antígeno-anticuerpo en la cual dos antígenos, uno marcado con un isótopo radiactivo y otro sin marcar, compiten por sitios de unión de un anticuerpo. La técnica tiene una alta sensibilidad y especificidad, requiere cantidades pequeñas de muestras para análisis y no es contaminante, ya que la prueba se hace en tubos de ensayo y no se administra material radiactivo a los animales.

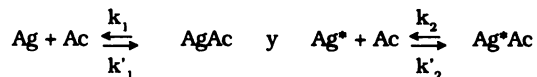
Desde el punto de vista clínico y de investigación aplicada a la solución de problemas en fincas, la progesterona es la más importante entre las múltiples hormonas reproductivas y metabólicas que intervienen en el proceso reproductivo, ya que permite hacer un seguimiento preciso de la función reproductiva de las vacas. La progesterona es producida en el ovario por el cuerpo lúteo que se forma poco después de la ovulación y su concentración en la sangre varía de acuerdo con el estadio del ciclo estrual y estado reproductivo, teniendo valores muy bajos alrededor de la ovulación, y elevados a mitad del ciclo y durante la gestación. La secreción de esta hormona es continua en animales gestantes, en tanto que en animales vacíos varía de acuerdo con el ciclo estrual. El análisis de progesterona puede ser utilizado para estudios de fisiología reproductiva, manejo reproductivo de fincas, en diagnóstico clínico y otras mediciones del comportamiento animal.

En el presente artículo se hace una revisión de los aspectos básicos del RIA

—el método utilizado por la FAO/OIEA para el análisis de progesterona— el uso de la técnica en América Latina; y sus aplicaciones prácticas en investigación y en apoyo a la búsqueda de soluciones prácticas para el mejoramiento de la eficiencia productiva y reproductiva del ganado vacuno.

Principios Básicos del Radioinmuno-ensayo

El RIA se basa en la habilidad de un antígeno (hormona) sin marcar o 'frio' para competir con una cantidad fija de antígeno marcado o 'caliente' por un número limitado de sitios de unión de un anticuerpo específico. El antígeno se encuentra marcado (ligado) con un isótopo radiactivo, usualmente tritio (^3H) o ^{125}I en el caso de la progesterona. Es una reacción química reversible que se lleva a cabo entre los determinantes antigénicos de la hormona y los sitios activos del anticuerpo. La reacción entre el anticuerpo y el antígeno se expresa de la forma siguiente:



donde:

Ag^* y Ag son los antígenos marcados y sin marcar, respectivamente; Ac es el anticuerpo; k_1 y k_2 son la frecuencia de asociación; y k'_1 y k'_2 son las frecuencias de disociación.

La reacción antígeno-anticuerpo es reversible y obedece a la Ley de Acción de Masas: "la proporción de los productos de la concentración en los dos lados de la ecuación será constante al alcanzarse el equilibrio".

Las cantidades de Ac y Ag^* son constantes en el RIA, de modo que la inhibición de unión del Ag^* en la proteína (Ac) está relacionada con la concentración del Ag en las muestras (Figura 1). En la medida en que Ag aumente en las muestras

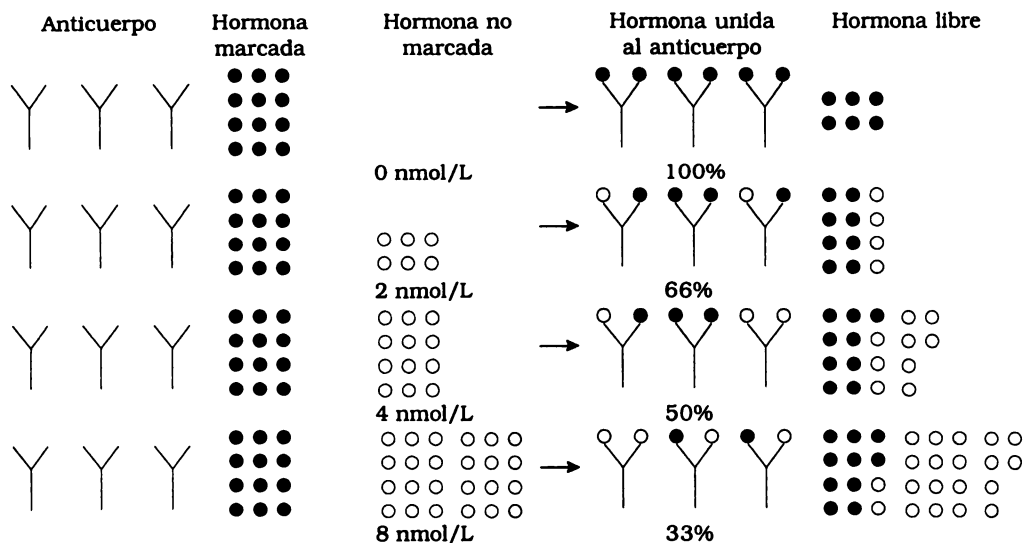


Figura 1. Técnica del radioinmuno-ensayo. Se utiliza una hormona marcada en exceso para asegurar la saturación de los sitios de unión del anticuerpo. La adición de cantidades crecientes de hormona no marcada (2, 4 y 8 nmol/L en el ejemplo) produce una disminución de la hormona marcada unida al anticuerpo. La separación de las fracciones unidas y libres permite la determinación de la hormona presente en la muestra.

FUENTE: Modificado de Edqvist y Stabenfeldt (1989).

desconocidas y soluciones estándares, la cantidad de Ag* unido al Ac disminuye.

Elementos del RIA

Los elementos principales del RIA son la sustancia a medir, el antígeno marcado con un isótopo radiactivo, el anticuerpo y el mecanismo de separación de la fracción unida de la fracción libre.

Sustancia a medir

Además de las hormonas, es posible analizar una gran variedad de compuestos, tales como drogas, antibióticos, neurotransmisores y vitaminas, entre otros. Incluso, se puede detectar la presencia de microorganismos patógenos. Estos compuestos pueden estar en plasma, suero, leche, orina, saliva, linfa, líquido amniótico y heces.

Trazador (antígeno marcado)

Es la sustancia a medir (antígeno) unida a una partícula radiactiva. La mayoría de los RIA iniciales utilizaron el tritio (^3H). Este isótopo tiene la ventaja de poseer una larga vida media (12.3 años). Los antígenos trititados son muy estables y el riesgo de exposición radiactiva es baja. Sin embargo, la medición del ^3H tiene una eficiencia entre 15% y 40%; por lo tanto, se debe utilizar en altas concentraciones. El conteo de compuestos marcados con tritio es oneroso y, en consecuencia, poco usado en la actualidad.

Los antígenos marcados con ^{125}I posibilitan el diseño de protocolos donde una de las fracciones se queda en el tubo de ensayo y puede ser contada directamente, disminuyendo el costo del material y aumentando la precisión de la prueba. Entre las desventajas se pueden mencionar

la corta vida media del isótopo (60 días), la baja estabilidad del compuesto que puede reducir la sensibilidad del ensayo, y el mayor riesgo de contaminación radiactiva para el personal.

Anticuerpo

Un anticuerpo es una inmunoglobulina, generalmente una Ig, capaz de reaccionar con la sustancia a medir y de alta especificidad y afinidad. Se tienen dos tipos de anticuerpos. Los Ac policlonales que se obtienen inyectando sustancias antigénicas en animales de laboratorio. Este antígeno desencadena una respuesta inmunológica que produce anticuerpos contra distintos componentes antigénicos de su molécula. El conjunto de anticuerpos producidos contra el suero del animal inmunizado se le denomina antisuero. Por otro lado, los Ac monoclonales son producidos por hibridomas, células resultantes de la fusión de células específicas del bazo (de animales previamente inmunizados) con células tumorales de mieloma. Los hibridomas retienen las propiedades de las células esplénicas de producir anticuerpos y de las células tumorales de reproducirse en condiciones *in vitro*.

La estructura de las hormonas péptidas, a diferencia de las hormonas esteroides, difieren entre especies, de modo que los anticuerpos producidos contra ellas son característicos para cada especie. Esto es importante, toda vez que los kits comerciales para la determinación de hormonas péptidas están diseñados para uso en humanos. Estos kits no pueden ser utilizados para medir hormonas en animales domésticos, a menos que sean validados para las especies en cuestión y, aún así, sólo pueden ser utilizados para determinar cantidades relativas y no absolutas.

Separación de las fracciones unidas y libres

El RIA requiere de un eficiente sistema de separación del complejo antígeno-anticuerpo o fracción unida (AgAc y Ag*Ac) del antígeno

libre (Ag y Ag*). Existen diferentes métodos de separación, entre ellos la asociación de anticuerpos a polímeros insolubles; la precipitación química de la fracción unida (p. ej., con sulfato de amonio o polietilenglicol); la adsorción de la fracción libre (p. ej., con carbón recubierto con dextrán); el inmunológico (p. ej., usando un segundo anticuerpo que reacciona contra el primer anticuerpo); y la fase sólida donde se utilizan tubos de ensayo o una matriz recubierta con el anticuerpo.

Protocolo de Trabajo del RIA de Fase Sólida

Los pasos básicos de un típico ensayo de fase sólida son los siguientes (FAO/OIEA, 1997):

- Poner a temperatura ambiente las muestras y demás componentes antes de iniciar el ensayo.
- Identificar los tubos de ensayo por duplicado, según el protocolo indicado en la Figura 2.
 - Tubos AT (actividad total o máxima del ensayo), constituido por la hormona marcada, que indican el nivel de radiactividad del trazador.
 - Tubos NSB (unión no específica), no requeridos en el caso del kit FAO/OIEA de progesterona, para registrar posibles impurezas unidas a la pared del tubo.
 - Tubos B₀ (estándar cero), para calcular la unión máxima del ensayo.
 - Tubos para los estándares. Las soluciones estándar tienen concentraciones crecientes que cubren el rango fisiológico de la hormona en la especie en estudio. Se utilizan para graficar la curva estándar o curva de inhibición.
 - Tubos CI (controles internos) y CE (controles externos).

Identificación del ensayo			
Hormona	Progesterona		
Kit	FAO/OIEA para leche		
Unidades	nmol/L		
Técnico	Juan Pérez		
Fecha	19 diciembre de 1996		
Código del laboratorio	3049		

Datos generales del kit			
Componentes	Número de lote	Fecha de reconstitución	Fecha de expiración
Estándares	IAEA3 0004	18/12/96	31/10/97
Controles externos	A.B. 96/10	18/12/96	—
Tubos de ensayo	TPG1 1085		30/09/97
¹²⁵ I-progesterona	TPG2	—	31/12/96

Control de calidad	
Cuentas totales	31,301 cpm
% Unión máxima	49.9%
Tiempo de conteo	60 segundos
Eficiencia del contador	69%
Control Interno I	3.15
Control Interno II	8.16
Tiempo de incubación	3 horas
Temperatura de incubación	25 °C
Fondo	83 cpm

Figura 2. Ejemplo de una planilla para registro de datos de un RIA de progesterona en leche.

Tubo	Identificación	Cuentas por minuto	Porcentaje de unión	Concentración (nmol/L)	Concentración promedio (nmol/L)
1	TC	30789	31031		
2		31813			
3	Estándar 0	15347	15622	0	
4		15898			
5	Estándar 1	11352	72.7	1.25	
6		10970	70.2		
7	Estándar 2	8956	57.3	2.5	
8		9263	59.2		
9	Estándar 3	7290	46.6	5	
10		7349	47.0		
11	Estándar 4	5211	33.3	10	
12		5154	33.0		
13	Estándar 5	3679	23.6	20	
14		3675	23.5		
15	Estándar 6	2409	15.4	40	
16		2450	16.3		
17	Control I	8693	55.6	3.03	3.15
18		8477	54.3	3.27	
19	Control II	5783	37.0	8.35	8.16
20		5909	37.8	7.97	
21	Ctrl Ext. A	7289	46.6	4.91	4.92
22		7271	46.5	4.94	
23	Ctrl Ext. B	4895	31.3	11.7	10.97
24		5222	33.4	10.3	
25	Muestra 1				
26					
27	Muestra 2				
28					
29	Muestra 3				
30					
31	Muestra 4				
32					
33	Muestra 5				
34					
35	Muestra 6				
36					

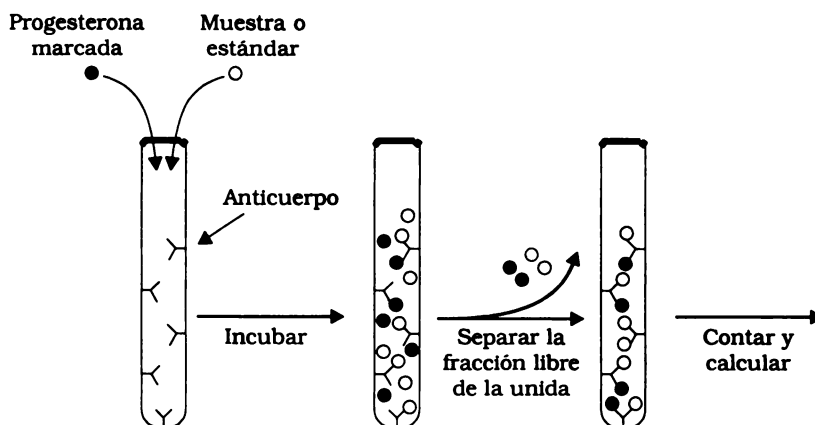


Figura 3. Esquema de trabajo en el RIA de fase sólida para el análisis de progesterona.

- Tubos para las muestras a analizar. No se deben incluir más de 200 tubos en un ensayo, a fin de evitar posibles 'corrimientos' o diferencias entre los tubos del inicio y fin del ensayo.
- Homogenizar los estándares, las muestras y los controles.
- Añadir la progesterona marcada y la muestra (o estándares o controles) a los tubos de ensayo. El anticuerpo se encuentra adherido en las paredes internas del tubo (Figura 3).
- Incubar hasta alcanzar el equilibrio de la reacción antígeno-anticuerpo. El tiempo de incubación varía de acuerdo con el método (entre 1 y 6 h a temperatura ambiente, o entre 12 y 24 h en refrigeración).
- Separar las fracciones unidas y libres por decantación o por aspiración del líquido. En algunos casos se incluye una fase de lavado para reducir el 'ruido' en la lectura.
- Leer la radiactividad de cada tubo en un contador gamma (se expresa en cuentas por minuto, cpm).
- Graficar la curva estándar (Figura 4). Para ello se debe calcular previamente lo siguiente:

- La unión máxima ($\%B_0/AT$), que refleja el estado de unión del AC a las paredes del tubo.
- El porcentaje de unión ($\%B/B_0$) de los estándares, los controles de calidad y las muestras (B).
- Calcular las concentraciones de progesterona por interpolación en la curva estándar. Existen programas de computación con interfase a los contadores gamma que grafican las curvas estándares y calculan en forma automática las concentraciones de las sustancias a medir.

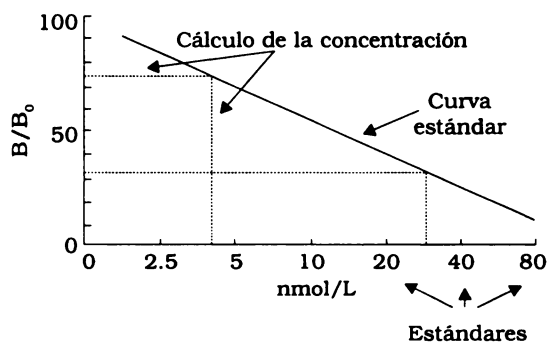


Figura 4. Curva estándar representada en un sistema logit-logarítmico y cálculo de la concentración de hormona en las muestras.

Control de Calidad del RIA

El propósito de un control de calidad es minimizar la posibilidad de error en los resultados alertando al laboratorista de posibles inexactitudes o problemas en la determinación de los niveles hormonales. No obstante que el RIA es una técnica confiable, siempre existe la posibilidad de ocurrencia de errores en el proceso. Si el ensayo arroja valores incorrectos se sacarán conclusiones equivocadas y, por tanto, se tomarán decisiones no apropiadas de manejo a nivel de finca. El mantenimiento de un programa de control de calidad permitirá al laboratorista eliminar las dudas sobre la validez de sus resultados.

La eficiencia de las micropipetas se debe evaluar con frecuencia. Para esto se puede "pipetear" 10-20 volúmenes similares de agua dentro de un vaso de precipitación colocado en una balanza con tara y, de esta manera, calcular el coeficiente de variación de los pesos registrados. La eficiencia del contador gamma se debe medir una o dos veces por año, ya que ésta tiende a ser menor con el uso a través del tiempo. Para esta calibración se puede utilizar una varilla de ^{129}I . La eficiencia del contador debe ser superior a 50%.

La evaluación de la calidad del ensayo se hace a través de la medición de la variación dentro y entre ensayos.

Variación dentro del ensayo

Este coeficiente es una medida de variación del valor de la muestra analizada (generalmente los controles internos) en forma repetida dentro de un ensayo. Así, si el valor de la muestra es de 5 y el coeficiente de variación del ensayo es de 20%, los valores obtenidos para esa muestra pueden estar entre 4 y 6. El coeficiente de variación dentro del ensayo (intra-ensayo) se define como la desviación estándar de los valores de una muestra dividido por el promedio de los valores de la muestra y multiplicado por 100. Este debe ser menor de 10%.

Variación entre ensayos

Es similar al anterior, pero se basa en los resultados de una muestra analizada en diferentes ensayos. La determinación de la variación entre ensayos (inter-ensayo) es la única manera de asegurar que los valores de una serie de muestras de un animal reflejen su condición clínica o su estado reproductivo, en lugar de alteraciones por efecto de variaciones entre ensayos. El valor de este coeficiente debe ser menor de 15%. Los valores de los controles internos de cada ensayo se deben graficar como se indica en la Figura 5.

Los controles internos de calidad para el RIA de progesterona se preparan con leche-sangre de las especies en estudio.

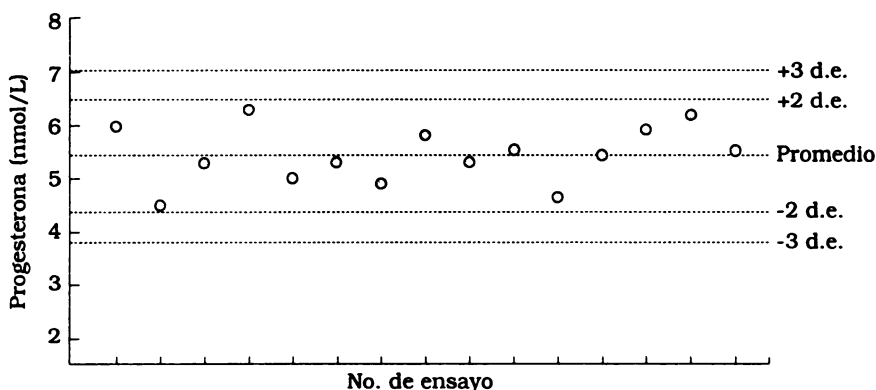


Figura 5. Representación gráfica de los valores de progesterona de un control interno.

Usualmente se utiliza un control bajo (1 a 3 nmol/L) y un control medio (4 a 7 nmol/L), aunque hay investigadores que prefieren utilizar un tercer control (alto, > 12 nmol/L), especialmente si están trabajando con animales gestantes. Estas muestras control se incluyen en duplicado al inicio y al final de cada ensayo, y los valores resultantes se grafican en la cartilla respectiva (Figura 5). Los límites aceptables de los controles internos deben estar entre el promedio $\pm$ 2 D.E.

Equipo Mínimo Requerido para el RIA de Progesterona

La necesidad de equipo varía de acuerdo con el método utilizado. El equipo básico es el siguiente:

- Micropipetas (de preferencia de volúmenes fijos) con puntas plásticas descartables para dispensar volúmenes entre 10 a 1,000 μ l.
- Pipeta multi-dispensadora (p. ej., pipeta Eppendorf 4780) o pipeta dilutora para dispensar volúmenes entre 200 a 1,000 μ l.
- Pipetas Pasteur y de vidrio (1 a 10 ml).
- Vasos de precipitación y fiolas de varios volúmenes.
- Gradillas para las muestras.
- Gradillas decantadoras de esponja.
- Mezclador tipo "vortex".
- Balanza analítica.
- Contador gamma manual de un pozo para laboratorios que analicen menos de 200 muestras por semana; o un contador automático multi-pozo para cantidades mayores de muestras.
- Fuente de agua destilada/esterilizada/deionizada.

Recomendaciones para la Toma y el Procesamiento de Muestras para Medición de Progesterona

La identificación del animal y la fecha de recolección se anota con tinta a prueba de agua en el tubo de la muestra. La claridad en la identificación de las muestras facilita el ordenamiento de las mismas. Datos ilegibles y el exceso de información son las mayores causas de confusión según una encuesta hecha en 14 laboratorios de Asia y América Latina (IAEA, 1997).

El procedimiento recomendado para la colección de muestras de leche y sangre es el siguiente:

Muestras de leche

La concentración de progesterona en leche es afectada por el momento de la toma de la muestra (fase de ordeño) y su procesamiento posterior, incluyendo la temperatura de centrifugación. La consistencia en el esquema de muestreo es de vital importancia para la obtención de concentraciones de progesterona que reflejen el verdadero estado reproductivo del animal. Se recomienda:

- Recolectar 10 ml de leche. Tomar una muestra del total de leche producida o de la leche residual. Colectar las muestras en la misma fase del ordeño. La mastitis clínica afecta los resultados.
- Añadir un preservante (1 tableta de azida de sodio [100 mg] o 1 tableta de dicromato [100 mg]) a la muestra de leche.
- Centrifugar la muestra a 2000 G para el descremado. La centrifugación se debe hacer siempre a la misma temperatura (preferible a 4 °C, si se dispone de centrifuga refrigerada) durante 15 min. Un intervalo entre 5 y 7 días entre la toma de la muestra y la centrifugación no afecta la integridad de la misma, si ésta

se recolecta en forma higiénica y se almacena en refrigeración. La leche entera no se debe colocar en congelación.

- La leche se debe descremar de la forma siguiente: (1) si la leche se centrifuga a temperatura ambiente, colocar la muestra en refrigeración por 15 min para endurecer la capa de grasa, (2) utilizar una varilla de vidrio para perforar la capa de grasa, (3) transferir toda la leche descremada a un vial utilizando una pipeta Pasteur.
- La leche descremada (con preservante) puede ser almacenada de la forma siguiente: (1) 4 °C, se conserva estable hasta 3 meses, (2) en congelación de forma indefinida, y (3) a temperatura ambiente a 37 °C durante 2 semanas.

Muestras de sangre

La concentración de progesterona disminuye sustancialmente en pocas horas por un proceso de degradación enzimática, si la muestra no es refrigerada y centrifugada de inmediato.

La hemólisis ligera no interfiere con el resultado del RIA. Se recomienda:

- Recolectar 10 ml de sangre de la vena yugular o de la coxígea (cola) del animal. La forma más efectiva es utilizando tubos al vacío ('vacuotanier') sin preservantes en el caso de suero, o con heparina o EDTA como anticoagulante en el caso de plasma.
- Para la obtención de suero se debe permitir que ocurra la coagulación antes de centrifugar.
- Para la obtención de plasma se deben colocar las muestras de inmediato en refrigeración (4 °C o en termos refrigerados).
- Centrifugar las muestras dentro de las 4 h de la colección. Centrifugar las muestras a 2000 G por 15 a 20 min. Se recomienda el uso de centrifugas con rotores horizontales y canastas de ángulo variable.

- Almacenar en congelación el suero o plasma resultante.

El RIA de Progesterona en Países en Desarrollo

Los radioinmuno-ensayos fueron establecidos en los laboratorios de producción animal en América Latina a inicios de la década de los 80. Muchos de ellos fracasaron o fueron subutilizados debido a la falta de equipo especializado, repuestos, mano de obra calificada, control de calidad y materiales adecuados. El alto costo de los equipos y la falta de disponibilidad de componentes clave de la técnica, como hormonas marcadas con ^3H y ^{125}I afectaron la sostenibilidad de la investigación. Ante esta situación, la FAO/OIEA, a través de la Unidad de Producción Animal del Laboratorio de Agricultura y Biotecnología, Seibersdorf-Austria, comenzó a desarrollar y validar protocolos de RIA que pudieran ser utilizados en países en desarrollo con un mínimo de equipo. Se trabajó con tres hormonas reproductivas de importancia clínica para el ganado: progesterona, testosterona y hormona luteinizante (LH). Sin embargo, el mayor esfuerzo se invirtió en el desarrollo de la tecnología necesaria para el análisis de progesterona.

Los primeros intentos con un RIA de fase líquida y un conjugado de progesterona- ^{125}I tuvieron una baja repetibilidad y alta variabilidad entre laboratorios. En 1987, en cooperación con la empresa Diagnostic Products Co., se desarrolló un kit de RIA de fase sólida con un Ac policlonal adherido al tubo y progesterona marcada con ^{125}I (Plaizier, 1993). Este kit demostró ser altamente sensitivo, específico, robusto y adecuado, aún para usuarios de poca experiencia y laboratorios con pobre equipamiento. El kit contiene todos los componentes necesarios para analizar 42 muestras de sangre o leche en duplicado. El equipo básico tiene un costo aproximado de US\$4000. En los últimos 10 años se han distribuido kits para procesar más de 2 millones de muestras a más de 80 laboratorios en aproximadamente 50 países en desarrollo, entre los cuales se

incluyen 16 países de América Latina, en apoyo de actividades relacionadas con estudios de reproducción en especies domésticas de interés pecuario, incluyendo los camélidos (Figura 6). No obstante, el mayor inconveniente de esta metodología es el alto costo de los kits comerciales.

Recientemente se ha desarrollado un kit alternativo para muestras de leche, en el cual los usuarios necesitan recubrir los tubos de ensayo con un anticuerpo monoclonal producido por el Agricultural Biotechnology Centre, en Gödöllo, Hungría. El protocolo de trabajo es ligeramente más complicado que el protocolo del kit comercial y, por tanto, requiere mayor entrenamiento y equipo adicional para su utilización (principalmente material de vidrio y sustancias químicas). Sin embargo, estas desventajas son opacadas por la ventaja de eliminar la dependencia de kits comerciales y permitir a los usuarios adaptar los kits en la medida de sus necesidades, ofreciendo una mayor libertad en el planeamiento y coordinación de la investigación. El kit utiliza productos químicos estándares y material fungible de fácil acceso, haciendo que sea un sistema de bajo costo. El kit, con excepción del anticuerpo, tiene un costo aproximado entre US\$0.40 y US\$0.60 por unidad de ensayo. Esto es considerablemente más económico

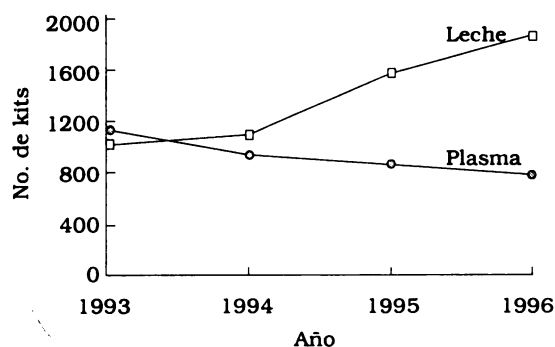


Figura 6. "Kits" FAO/OIEA (x 100 tubos) para determinaciones de progesterona en plasma/suero y en leche distribuidos a cerca de 80 laboratorios en 50 países en desarrollo entre 1993 y 1996.

que los métodos alternos, quedando aún por evaluar la factibilidad de la marcación de la progesterona a nivel regional, proceso que, teóricamente, podría reducir los costos en 50%.

El elemento clave, el anticuerpo monoclonal, puede ser proporcionado por la OIEA a las entidades que lo necesiten para sus actividades de investigación y de extensión destinadas a mejorar la productividad animal. Una pequeña cantidad de anticuerpo es suficiente para trabajar miles de muestras.

Trabajos similares se vienen realizando para adaptar este kit para uso con muestras de plasma-suero sanguíneo. No obstante, aparentemente esta variante no es prioritaria, toda vez que las estadísticas muestran una tendencia creciente al uso de muestras de leche sobre plasma-suero (Figura 6), posiblemente debido al mayor peso en la investigación en ganado vacuno de leche y de doble propósito en relación con otras especies, y a la facilidad de la toma de muestras seriadas de leche en gran cantidad de animales en relación con la recolección de sangre.

Laboratorios de RIA en América Latina

La técnica de RIA se encuentra difundida en los países de la región, principalmente a través de proyectos de asistencia técnica y cursos de capacitación de la FAO/OIEA. Estos laboratorios reúnen las condiciones técnicas para realizar la determinación de diversas hormonas reproductivas y metabólicas. Entre éstas, el análisis de progesterona es el de mayor uso debido a las utilidades prácticas que brinda para la evaluación del comportamiento reproductivo del ganado. Sin embargo, en la mayoría de los laboratorios existen técnicas de trabajo rutinario para la determinación de T_3 , T_4 , testosterona, cortisol y LH; y en algunos otros se realizan determinaciones de insulina, estradiol, zeranol, trembolona,

DES, proteínas específicas, sulfato de estrona, prolactina y FSH.

En el Cuadro 1 se detallan la ubicación y la fuente original de financiación de los 48 laboratorios de RIA existentes en América Latina, dedicados al apoyo de trabajos de investigación y extensión en producción animal.

Todos estos laboratorios utilizan hormonas marcadas con ^{125}I , sea con los kits FAO/OIEA o con kits comerciales. Sin embargo, hay 8 laboratorios en Brasil, Cuba (2), México (3), Paraguay y Uruguay que además tienen facilidades para trabajar con hormonas tritadas, y 4 laboratorios en Colombia, México (2) y Perú que emplean la técnica del enzimoimmuno-ensayo para la determinación de algunas hormonas.

Recursos Humanos

El establecimiento de laboratorios de RIA ha permitido la formación y fortalecimiento de equipos de investigadores en producción animal en universidades y centros de investigación.

Cuadro 1. Laboratorios de RIA en producción animal existentes en América Latina y fuentes de apoyo inicial.

País	Fuente de apoyo	
	FAO/ OIEA	Otros
Argentina	3	1
Bolivia	1	—
Brasil	2	1
Colombia	3	2
Costa Rica	2	—
Cuba	2	1
Chile	4	—
Ecuador	1	—
El Salvador	1	—
Guatemala	1	—
México	2	6
Panamá	1	—
Paraguay	1	1
Perú	2	2
Rep. Dominicana	1	—
Uruguay	2	—
Total	34	14

Las actividades de investigación y extensión de la Facultad de Agronomía, Universidad de Oruro, Bolivia, era prácticamente nula hasta 1993 en que se estableció el laboratorio de RIA. Esto permitió la cohesión de un grupo de profesionales que al cabo de 4 años han mostrado maduración científica e importantes logros para el beneficio de la producción de llamas en Bolivia. Este grupo logró mejorar el nivel de aceptación de la carne de llama en la región de Oruro, en tal forma que su valor comercial es actualmente mayor que el de ovino y ligeramente por debajo de la carne vacuna. Además, este grupo es actualmente el asesor técnico de la Asociación Boliviana de Productores de Llamas.

Un ejemplo de participación interinstitucional e interdisciplinaria, logrado a través de la utilización del RIA de progesterona como herramienta para la evaluación de la respuesta reproductiva a diferentes manejos técnicos de la alimentación del ganado de doble propósito, se consiguió en el Estado de Guárico, Venezuela. Allí, veterinarios e ingenieros agrónomos de las Universidades Rómulo Gallegos, Simón Rodríguez, Central de Venezuela y del Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias trabajan en forma conjunta en la evaluación de recursos alimenticios locales para mejorar la eficiencia productiva y reproductiva en diferentes sistemas de producción y nichos ecológicos.

El número de profesionales y técnicos capacitados en la técnica del RIA de progesterona es amplio. En una encuesta realizada en 1996 en 15 laboratorios de la región, García (datos no publicados) comprobó la existencia de 48 laboratoristas que estaban trabajando (3.2 personas por laboratorio) y de 155 personas entrenadas en la técnica (Figura 7). Los laboratorios de RIA, en su mayor parte de un centro universitario, se dedican a labores de investigación, enseñanza y trabajos de apoyo para actividades de extensión a productores. En estos 15 laboratorios se analizaron cerca de 95.000 muestras en 1996.

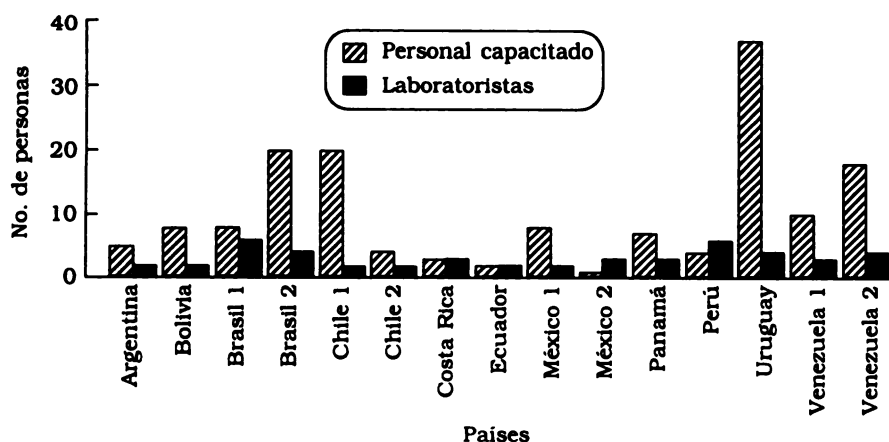


Figura 7. Personal de laboratorio capacitado en la técnica del RIA de progesterona en América Latina (con base en 15 laboratorios).

Programa de Garantía de Calidad del RIA

No es suficiente disponer de una técnica útil y práctica en el laboratorio si la validez del resultado no puede ser garantizada por el laboratorista. La certificación de la calidad de los resultados no sólo es importante para la reputación del laboratorio y el beneficio de sus usuarios, sino como herramienta de credibilidad externa (p. ej., publicación de resultados en revistas científicas).

El dominio de la técnica, el adecuado conocimiento del protocolo de trabajo y el uso constante de los controles internos de calidad proporcionan confianza y seguridad al laboratorista, pero siendo el RIA una técnica no exacta y sujeta a variaciones imprevisibles, es recomendable tomar medidas adicionales. Todo laboratorio de RIA debe estar asociado a un programa de control externo de calidad, en el cual una entidad líder y neutral pueda certificar la calidad de los resultados. El Animal Health Diagnostic Laboratory, Michigan State University, conduce un programa internacional de control de calidad para diferentes hormonas. El laboratorio de RIA de la FAO/OIEA está asociado a la Universidad de Michigan y, a su vez, mantiene otro programa de control de calidad enfocado a países en desarrollo y,

exclusivamente, al RIA de progesterona en leche y plasma, y a diferencia del anterior, ofrece asistencia técnica a los laboratorios participantes.

El programa de control externo de la FAO/OIEA para RIA de progesterona proporciona una evaluación objetiva de la calidad de los kits, estabilidad del isótopo y precisión del trabajo de laboratorio. Asimismo, permite hacer un seguimiento de la variabilidad entre laboratorios e identificar laboratorios problema. Este programa ha servido a los laboratorios para certificar la validez de sus resultados, y ha permitido detectar problemas relacionados con la técnica, la calibración y el funcionamiento de las pipetas y contadores gamma. En la Figura 8 se observan los resultados de una de las muestras control de leche analizadas por un grupo de laboratorios en febrero de 1997. A través de la información enviada por los laboratorios participantes es posible determinar los errores que comete el analista (p. ej., "pipeteo" deficiente, pobre nivel de unión, bajas cuentas por minuto, cálculos equivocados, errores en la graficación de la curva estándar). Los laboratorios con valores fuera de los rangos de aceptación son contactados en forma confidencial y se les recomienda las medidas correctivas necesarias.

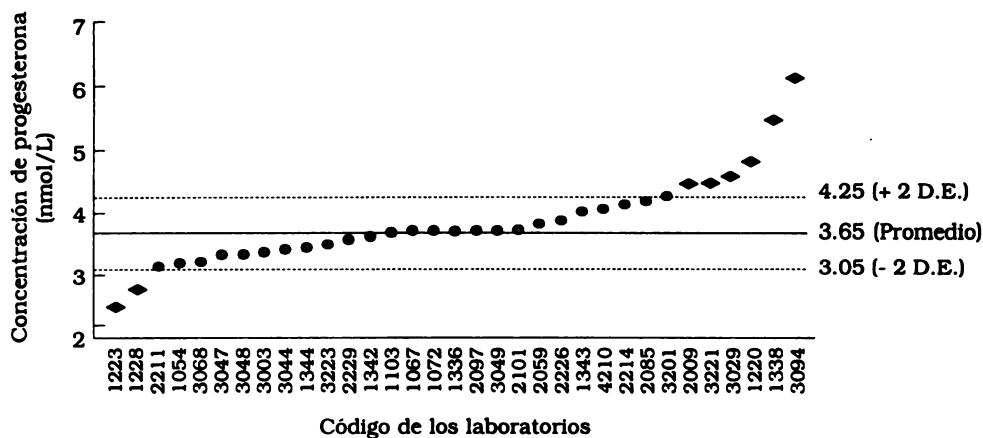


Figura 8. Resultados de la muestra 'x' del Programa de Control de Calidad FAO/OIEA del RIA de progesterona en leche en febrero de 1997. Los laboratorios con valores mayores de ± 2 D.E. del promedio se encuentran fuera del rango de aceptación.

Aplicaciones del RIA de Progesterona

El perfil de progesterona, con base en muestras seriadas recolectadas en un mismo animal, facilita el entendimiento de la fisiología reproductiva del ganado y permite hacer una evaluación objetiva del estado reproductivo de las hembras de las especies en estudio. Las principales aplicaciones pueden agruparse como sigue:

- Determinación del inicio de la pubertad
- Estudio del posparto:
 - Anestro/reinicio de la actividad ovárica
 - Primera ovulación
 - Concepción
- Evaluación de la eficiencia de la detección del celo.
- Evaluación de la eficiencia del servicio de inseminación artificial.
- Diagnóstico precoz de la no-gestación.
- Evaluación de problemas de fertilidad:
 - Ciclicidad/aciclicidad
 - Quistes foliculares/luteales

- Respuesta a los tratamientos clínicos
- Sincronización de celo y transferencia de embriones.

En la Figura 9 se muestra el perfil básico del posparto y los posibles problemas reproductivos que se pueden identificar a través del análisis de la progesterona (anestro patológico, anestro postservicio, reinicio tardío de la actividad sexual, quistes ováricos, persistencia del cuerpo lúteo, muerte embrionaria). Este tipo de perfiles permite, además, determinar el intervalo entre parto y primera ovulación y entre parto y concepción (días abiertos), número de ovulaciones previas a la concepción, eficiencia de la detección de celo, etc. En animales con monta libre es posible determinar, asimismo, la fecha estimada de concepción.

El número de muestras por semana depende del tipo de información que se desea obtener a través de los perfiles de progesterona. La información apropiada sobre los eventos reproductivos posparto en ganado vacuno se puede obtener con 1 ó 2 muestras por semana, dependiendo de la exactitud requerida y del intervalo esperado entre parto y primera ovulación. Para definir el perfil hormonal del ciclo estrual se requieren muestras diarias, y para

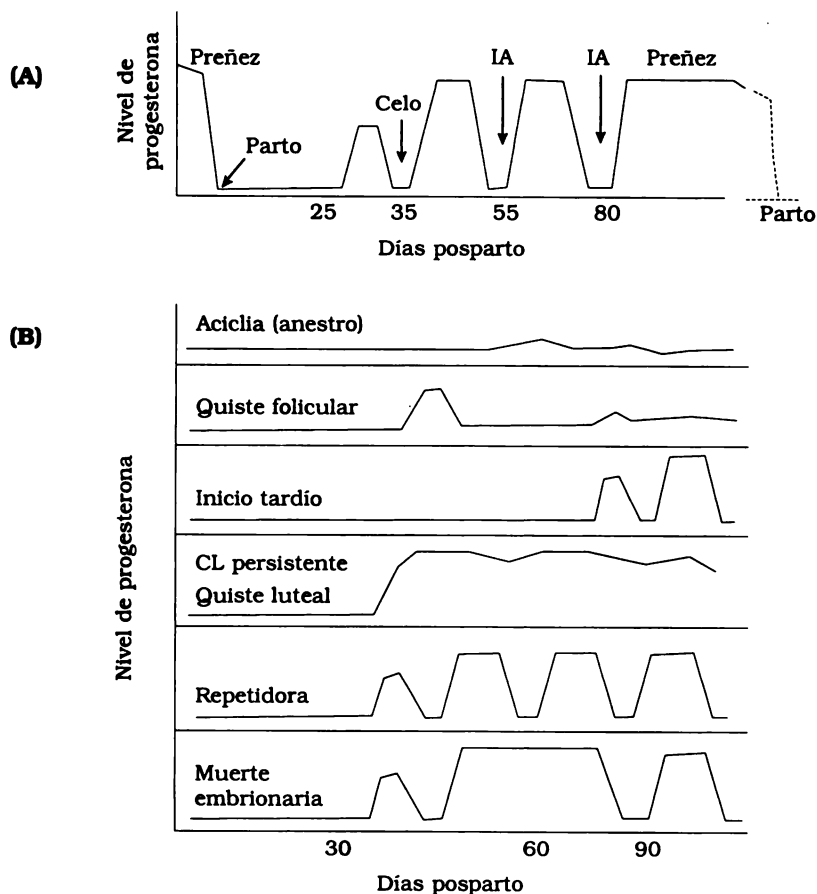


Figura 9. Perfiles de progesterona en vacas con actividad ovárica posparto regular (A) y con problemas reproductivos (B).

identificar en un rebaño o localidad la proporción de animales gestantes, vacíos con actividad cíclica y vacíos en anestro es necesario tomar cuatro muestras con intervalos de 10 días. Por otro lado, una muestra es suficiente para el diagnóstico de no-gestación y tres muestras para evaluar la eficiencia de la inseminación artificial, como se discutirá más adelante.

Una de las aplicaciones prácticas del RIA de progesterona es en el diagnóstico de no-gestación (Figura 10). Es una prueba sencilla que sólo requiere la toma de una muestra (entre 21 y 24 días del servicio en el caso de vacas), aunque se recomienda una segunda muestra en el día del servicio

para verificar que éste no ocurrió durante la fase luteal. Los niveles bajos de progesterona entre los días 21 y 24 después del servicio son incompatibles con gestación y, por tanto, el diagnóstico de no-gestación tiene una confiabilidad cercana al 100%. Esta prueba puede ser ventajosa en animales élite o en aquellos sometidos a programas de transferencia de embriones, ya que permite tomar acciones inmediatas para realizar un servicio extra a la brevedad posible. Los niveles altos de progesterona en estos días son compatibles con gestación, pero no son concluyentes para diagnosticar la preñez del animal. Estos altos niveles en ese período se pueden presentar por

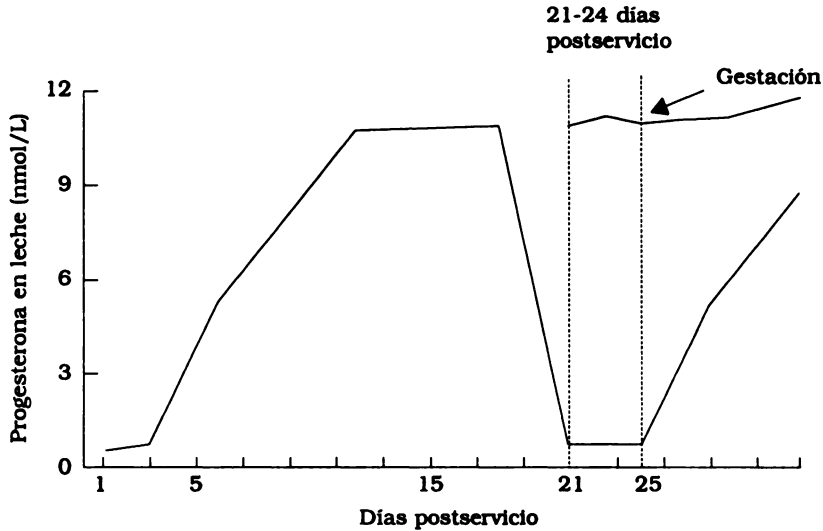


Figura 10. Perfiles de progesterona postservicio en vacas gestantes y vacías, y su uso para el diagnóstico de no-preñez.

efecto de una fase luteal larga o de un servicio anovulatorio seguido de ovulación sin celo detectado; de allí que la confiabilidad para certificar preñez es entre 50% y 80%. En el caso de yeguas es aún más complicado por la presencia de cuerpos lúteos secundarios.

En términos generales se puede indicar que valores mayores de 3 nmol/L son indicativos de actividad luteal, es decir, que se tiene la presencia de un cuerpo lúteo activo, en tanto que valores menores de 1 nmol/L indican la ausencia de actividad luteal. Sin embargo, la literatura indica diferencias entre razas y entre especies en los valores de progesterona durante los diferentes estadios reproductivos (Dobson y Kamptana, 1980). Por ejemplo, las concentraciones de progesterona tienden a ser más bajas en ganado Cebú que en ganado de tipo europeo, y las de bubalinos aún más bajas que las de Cebú. Por tanto, cada laboratorio debe establecer sus propios valores de definición a través de la correlación entre los valores de progesterona y la información clínica-fisiológica obtenida mediante registros de campo, observación

del comportamiento sexual, fechas de servicio-monta, palpación rectal, ultrasonido, etc., y no extrapolar valores entre laboratorios.

El RIA de progesterona ha sido utilizado en innumerables trabajos de investigación en América Latina (García et al., 1990, 1995; Delpino y González-Stagnaro, 1993; IAEA, 1990, 1992, 1996, 1997). Varios trabajos básicos de comportamiento reproductivo, como los de García (1988, 1990), permitieron identificar los principales problemas que afectaban la ganadería cebuina en la Amazonía (Figura 11), donde la calidad de la pastura, época de parto y el manejo del ternero tenían un papel preponderante en el reinicio de la actividad sexual posparto.

Se puede concluir que la respuesta reproductiva a diferentes factores como tipo de animal, manejo del ternero, tipo y manejo de pasturas, suplemento de concentrados, dietas experimentales, etc., puede ser evaluada en una forma más efectiva con el apoyo de los perfiles de progesterona.

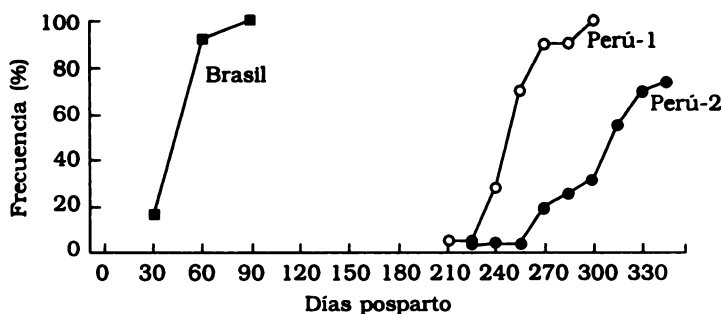


Figura 11. Frecuencia acumulada de la primera ovulación posparto en vacas Cebú mantenidas en pasturas mejoradas del Brasil y nativas con (Perú-1) y sin amamantamiento restringido (Perú-2).

FUENTES: Meirelles et al., 1990; García et al., 1988.

Evaluación de Prácticas de Alimentación y Manejo Animal a Través del Comportamiento Reproductivo: Un Enfoque Práctico

La investigación en finca es, probablemente, la herramienta más apropiada para encontrar las soluciones a los problemas que afectan la productividad animal. Sin embargo, las diferencias abismales existentes entre fincas, así como la imposibilidad de controlar factores ajenos a la investigación, dificultan la conducción de experimentos y la interpretación de los resultados; de allí que muchos investigadores prefieran trabajar en fincas experimentales. La FAO/OIEA ha diseñado una metodología de trabajo con apoyo del RIA de progesterona que permite obtener información precisa del comportamiento productivo y reproductivo de los rebaños, así como la identificación de los principales problemas que afectan su eficiencia. Pieza clave de este esquema es el hecho de que los investigadores conozcan el sistema de producción, comprendan la idiosincracia de los productores y los aspectos socioeconómicos de la población en estudio.

El levantamiento de información se debe hacer en fincas representativas del sistema

de producción en estudio y utilizando animales tipo promedio. En el caso de ganado vacuno se requieren, por lo menos, 100 vacas multíparas en el último tercio de la gestación distribuidas en el menor número posible de fincas. El esquema de trabajo para las diferentes observaciones (muestreos) se indica en el Cuadro 2. Adicionalmente, se debe registrar información general de las fincas y de los animales seleccionados.

Los cambios en la condición corporal son mejor indicador del estado nutricional del animal que los cambios en el peso corporal, especialmente en animales cruzados y criollos en los que la conformación corporal y el peso son muy variables entre animales de la misma edad. El perfil de progesterona le indica al investigador la duración del anestro posparto, el reinicio de la actividad cíclica, la eficiencia de la detección del celo y la concepción del animal. La información obtenida a través del análisis de ciertos metabolitos sanguíneos (α -hidroxi-butarato, urea, albúmina, globulinas) y minerales (fósforo inorgánico) ilustran la habilidad de la vaca de tolerar la fuerte demanda de nutrientes durante el pico de la lactación. Al mismo tiempo, las muestras de los alimentos (pasturas, concentrados y suplementos) analizadas por materia seca, degradabilidad, materia orgánica, nitrógeno y cenizas proporcionan información válida sobre la disponibilidad de los nutrientes y la calidad del alimento a través del año.

Cuadro 2. Mediciones y observaciones recomendadas para la evaluación del comportamiento productivo y reproductivo, y para la identificación de factores que afectan la productividad del ganado vacuno.

Mediciones/observaciones	Frecuencia
• Progesterona (leche o plasma) • Metabolitos nutricionales • Conducta sexual • Palpación rectal • Peso y condición corporal • Peso del ternero • Producción de leche • Alimentos	Semanal (desde los 15 días posparto hasta la confirmación de la preñez) a) 1-2 semanas previas al parto b) 10-20 días posparto c) 2-3 meses posparto Diaria Desde los 45 a 60 días posparto y mensual hasta la preñez Preparto, al parto y mensual Al nacimiento y mensual Cada 15 días Mensual en cada finca

Una encuesta de este tipo, llevada a cabo por un equipo multidisciplinario, puede proporcionar información suficiente para realizar un análisis completo del comportamiento productivo y reproductivo del hato. La encuesta proporciona una base sólida para solucionar problemas y errores simples de manejo, para plantear experimentos e intervenciones técnicas y, en general, para delinear las prioridades de investigación tendientes a solucionar problemas de la ganadería.

Mejoramiento del Servicio de Inseminación Artificial

Las ganaderías especializadas en producción de leche y gran parte de los rebaños de doble propósito tienen acceso a la inseminación artificial para mejorar la genética de los animales. Sin embargo, diversos factores socioeconómicos, gerenciales y biológicos afectan la calidad de la técnica, reduciendo su efectividad y el número de productores que la utilizan. Las acciones para mejorar la eficiencia de la inseminación artificial deben basarse en el conocimiento de las causas de su ineficiencia. Los métodos tradicionales se limitan a llevar registros de celo, servicios, preñez y partos.

El RIA de progesterona a través de muestras de leche en vacas y de sangre en hembras nulpáras provee beneficios sustanciales en la evaluación de la eficiencia de los servicios de inseminación artificial, en la identificación de los factores que lo afectan y en el seguimiento de las intervenciones técnicas para su solución. Como resultado de estas intervenciones se puede mejorar la eficiencia en la detección de celos y el momento adecuado para la realización de la inseminación artificial. Esto conduce a un notable incremento en el número de animales inseminados y en el mejoramiento de la tasa de concepción. Además, permite la identificación de animales en anestro patológico para la toma de medidas correctivas como cambios en la dieta alimenticia y uso de hormonas.

Un muestreo con un número no menor de 500 animales (vacas, búfalas o cabras) sometidos a la primera inseminación artificial, permite evaluar la eficiencia de este servicio. En el muestreo se registra información relativa a la finca, el inseminador, el reproductor, el animal inseminado y las características del celo, en combinación con un juego de tres muestras para el análisis de progesterona. Estas muestras se deben recolectar en el día del servicio y entre 10 y 12, y 22 y 24 días

después del servicio. Básicamente, la muestra del día del servicio permite identificar si el animal fue incorrectamente inseminado, es decir, durante la fase luteal; el uso de dos muestras permite diferenciar si el animal se encontraba ciclando, y el uso de tres muestras más el diagnóstico de gestación por rectopalpación permite identificar la ocurrencia de mortalidad embrionaria, servicios en animales gestantes y deficiencias en la detección de celos (Cuadro 3). El programa de informática AIDA (Artificial Insemination Database Application) fue desarrollado por la FAO/OIEA para facilitar el registro de la información, el análisis de datos y la preparación de los informes sobre resultados.

Los resultados preliminares de un programa coordinado de investigación en siete países de América Latina y un número igual del continente asiático (IAEA, 1997)

mostraron una alta variabilidad en el intervalo entre parto y primer servicio (79 a 205 días) y en las tasas de concepción al primer servicio (23% a 62%). Los análisis de progesterona en más de 8000 servicios de inseminación artificial indicaron que el 17.7% de ellos se hicieron en animales que no estaban en celo (durante la fase luteal), el 14.6% fueron inefectivos y los animales no fueron reinseminados por largos periodos de tiempo, el 7.8% estuvieron asociados a muertes embrionarias tardías, y en cuatro de estos países el 5% de los servicios se realizó en animales gestantes. Estos problemas reflejan errores de manejo, deficiencias en la detección de celos y fallas técnicas de los inseminadores. Esta información, que servirá de base para la corrección de los problemas encontrados, es sólo un ejemplo más de las utilidades prácticas del RIA de progesterona.

Cuadro 3. Evaluación del servicio de inseminación artificial (IA) a través del RIA de progesterona (alto: > 3 nmol/L; bajo: <1 nmol/L) con base en un juego de tres muestras de leche (o sangre) tomadas a diferentes intervalos del servicio.

Número de muestras	Día de toma de muestra			Diagnóstico de preñez	Interpretación
	0	10-12	22-24		
3	Bajo	Alto	Alto	Positivo	Gestación
	Bajo	Alto	Bajo	Negativo	Sin fertilización, muerte embrionaria temprana, anestro posparto
	Bajo	Alto	Alto	Negativo	Muerte embrionaria tardía (> día 16)
	Alto	Alto	Alto	Positivo	IA en animal gestante
	Bajo	Alto	—	—	Ciclo ovulatorio
	Bajo	Bajo	—	—	Anestro, anovulación, fase luteal corta
2	Alto	Alto	—	—	IA en animal gestante, quiste luteal
	Alto	Bajo	—	—	IA realizada en fase luteal
	Bajo	—	—	—	IA no realizada durante la fase luteal
	Alto	—	—	—	IA realizada durante la fase luteal

Referencias

- Delpino, A. y González-Stagnaro, C. 1993. Evaluación del comportamiento reproductivo en pequeños rumiantes tropicales utilizando los perfiles de progesterona. *Rev. Científica Facultad de Ciencias Veterinarias-LUZ (Maracaibo, Venezuela)* 3:231-247.
- Dobson, H. y Kamonpatana, M. 1986. A review of female cattle reproduction with special reference to a comparison between buffaloes, cows and zebu. *J. Reprod. Fert.* 77:1-36.
- Edqvist, L. E. y Stabenfeldt, G. H. 1989. Clinical reproductive endocrinology. En: *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*. Academic Press.
- García, M. 1988. On the reproductive efficiency of pure- and crossbred Zebu cattle in the Amazon Basin of Peru. Tesis Ph.D. Swedish University of Agricultural Sciences. 47 p.
- _____. 1990. Milk progesterone profiles in crossbred Brown Swiss x Nellore cattle following natural service. *Theriogenology* 33:1091-1103.
- _____.; Huanca, W.; y Echevarría, L. 1990. Reproductive performance of purebred and crossbred Zebu cattle under artificial insemination in the Amazon tropic. *Anim. Prod.* 50:41-49.
- _____.; Jayasuriya, M. C.; y Perera, B. M. 1995. Improving animal production by nuclear techniques. *IAEA Yearbook 1995*. B17-B32. Viena.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). 1990. *Livestock Reproduction in Latin America*. Viena. 446 p.
- _____. 1992. Feeding strategies for improving ruminant productivity in areas of fluctuating nutrient supply. *IAEA-TECDOC-691*. Viena. 160 p.
- _____. 1996. Development of feed supplementation strategies for improving ruminant productivity on smallholder farms in Latin America through immunoassay techniques. *IAEA-TECDOC-877*. Viena 182 p.
- _____. 1997. Proceedings of the Second Research Coordination Meeting of the FAO/IAEA Coordinated Research Programme on "Improvement of Ruminant Livestock Productivity through the Use of Progesterone RIA to Increase Efficiency and Quality of Artificial Insemination Services", Melbourne, Australia, 12-21 February 1997.
- FAO/IAEA Joint Programme in Animal Production and Health. 1997. Bench protocol of the self-coating milk progesterone RIA kit. *IAEA*, Viena. 28 p.
- Meirelles, C. F.; Barnabe, R. C.; Abdalla, A. L.; Barnabe, V. H.; Madureira, E. H.; Vitti, D. M.; Gennari, S. M.; Pinto, P. A.; y Martins, E. O. 1990. Pilot study on the reproductive performance of Brazilian Nellore, Gyr and Caracu cow. En: *Livestock Reproduction in Latin America*. IAEA, Viena. p. 241-248.
- Plaizier, J. C. 1993. Validation of the FAO/IAEA RIA kit for the measurement of progesterone in skim milk and blood plasma. En: *Improving the productivity of indigenous African livestock*. IAEA-TECDOC-708. IAEA, Viena, p. 151-156.

Manejo de la Nutrición de la Vaca y la Relación Vaca-Ternero

C. A. Sandoval Castro*, J. D. Leaver** y S. Anderson**

Resumen

La variabilidad encontrada en las respuestas a la suplementación del ganado de doble propósito puede ser el resultado de cambios en las prioridades relacionadas con fraccionamiento nutricional, bien sea para producir carne o leche, ya que esto depende de qué funciones metabólicas están presentes y a qué nivel (Short et al., 1990). Los genetistas han orientado la partición de nutrientes en animales de alta producción (Coppock, 1985). Sin embargo, la baja selección que se ha realizado en el ganado tropical puede explicar el amplio rango de resultados obtenidos hasta ahora.

Cuando el consumo de energía y proteína aumenta, como resultado de la suplementación o el suministro de forrajes de alta calidad, se deben esperar incrementos en el desempeño animal en términos de producción de leche, peso vivo animal y reproducción. Sin embargo, no siempre los resultados son los esperados, como consecuencia de la dificultad para garantizar una adecuada distribución de los nutrientes para diferentes actividades productivas (Baldwin et al., 1985).

Es posible aumentar la proteína en la leche para venta mediante la suplementación, pero los cambios en el contenido de grasa son menos predecibles. El incremento en la demanda de nutrientes impuesto por el consumo de la leche residual por parte del ternero, a menudo no se tiene en cuenta, lo cual crea una fuente de error para la evaluación del desempeño animal y el balance nutricional de ganado doble propósito. Los terneros cruzados criados con amamantamiento restringido se desarrollan de acuerdo con la disponibilidad de leche residual y el acceso a suplemento.

Para obtener un diagnóstico preciso del estado de nutrición del hato es necesario hacer una evaluación del amamantamiento como factor de manejo. Aún es necesario hacer más investigación en lactancias completas para evaluar los efectos del amamantamiento restringido, la nutrición y sus interacciones.

* Facultad de Medicina Veterinaria y Producción Animal, Universidad de Yucatán, Apartado Postal 116-4, Yucatán, Mérida 97100, México.

** Wye College, Proyecto Universidad de Londres-FMVZ, Yucatán, Mérida 97100, México.

Introducción

La relación de vaca-ternero es una de las características distintivas del sistema de doble propósito. La intensidad y la flexibilidad de este sistema descansan sobre la capacidad del productor para manejar o afectar esta relación de una manera práctica y exitosa, lo cual se describe mejor en la forma cómo el manejo del amamantamiento influye en forma positiva o negativa en el desempeño animal. Sin embargo, los efectos positivos o negativos se relacionan con las expectativas de ingresos y la relación insumo-producto en cada finca en particular, considerando que lo que es bueno para un productor quizá no lo sea para otros.

En este trabajo se resumen las deficiencias nutricionales y los limitantes para la producción de leche en la zona tropical y las respuestas a la suplementación obtenidas con vacas cruzadas de doble propósito. Se espera que como resultado de la suplementación aumenten el consumo de materia seca digerible y la producción de leche, aunque el rango de la respuesta puede ser amplio. La respuesta de vacas doble propósito en términos de calidad de la leche parece ser similar a la esperada con vacas de razas lecheras especializadas. Además, la suplementación reduce o evita las pérdidas de peso vivo, aunque hay evidencia de variación en la manera como las vacas Cebú y sus cruzamientos fraccionan los nutrientes, cuando se comparan con las vacas de razas lecheras. Se presta especial atención a la forma cómo el amamantamiento restringido afecta el desempeño animal. El manejo del amamantamiento afecta la producción de leche y su composición, el desempeño del ternero y la reproducción. Sin embargo, este efecto a menudo se ha ignorado y, en consecuencia, puede ser una fuente de error para la interpretación de los resultados de la literatura.

Limitaciones Nutricionales en Areas Tropicales

Inicialmente, se debe reconocer que existe poca información relacionada con el

metabolismo de nutrientes bajo condiciones tropicales de deficiencia estacional en el suministro de energía para rumiantes.

El número de vacas en el hato dependerá, en su mayor parte, de la cantidad del forraje que pueda producirse, de los concentrados que puedan adquirirse y del consumo de cada animal. La producción de leche por vaca es controlada por los factores genéticos, el estado de la lactancia y la calidad y cantidad del alimento suministrado a los animales. Sin embargo, el consumo voluntario es el factor primario que controla la producción animal, siendo la concentración de nutrientes en el alimento otro factor importante que controla la producción de leche (Minson, 1981; Minson et al., 1993). En consecuencia, la producción dependerá tanto de la cantidad como de la calidad del alimento consumido cada día.

Variación en el valor nutritivo de los forrajes

Se conocen varios factores que afectan el valor nutritivo de los forrajes en zonas tropicales y templadas. Los factores ambientales como temperatura, duración del día, precipitación y características de suelo (Simpson y Stobbs, 1981; Vickery, 1981); intrínsecos a la planta como especie o variedad y edad de cosecha (Allden, 1981); y de manejo como fertilización (Simpson y Stobbs, 1981) y carga animal (Vickery, 1981) también son importantes; sin embargo, en esta ocasión no se considerarán en detalle, aunque sí se hará un resumen corto sobre las deficiencias de energía y proteína como principales limitantes nutritivos en las pasturas tropicales.

Deficiencias de energía y proteína. En el trópico ocurren épocas lluviosas con una oferta abundante de forraje y secas caracterizadas por la escasez de alimento. En estas últimas, los rumiantes dependen para su alimentación de forrajes secos, arbustos y residuos de cosechas, lo cual limita severamente su producción (Williamson y Payne, 1975; Jayasuriya, 1993). Durante la época lluviosa, las pasturas tropicales crecen rápidamente y su

disponibilidad es alta; no obstante, su valor nutritivo en términos de energía y proteína es pobre cuando se les compara con las pasturas de las zonas templadas. Durante la estación seca, la situación es aún más grave. Como resultado, con los sistemas de alimentación basados exclusivamente en gramíneas sólo es posible mantener bajos niveles de producción. Los limitantes de estos sistemas son particularmente notorios cuando se hacen intentos para aumentar el promedio de producción de leche de vacas en pastoreo. Las deficiencias nutritivas existentes en el trópico afectan más severamente la producción de leche que otras formas de producción con rumiantes, lo cual se debe a los grandes requerimientos de energía y proteína de las vacas lactantes. Por tanto, para asegurar rendimientos de leche significativamente mayores que los normales, se requieren dietas de alto valor nutritivo (Topps, 1985).

Las gramíneas tropicales tienden a presentar baja concentración de nitrógeno y alto contenido de fibra durante largos periodos del año (Humphreys, 1982). Cuando los alimentos son fibrosos y de baja digestibilidad, el consumo es limitado, principalmente por la distensión y el llenado del rumen (Forbes y Barrios, 1992). Además existe una relación positiva entre la digestibilidad del forraje y el consumo diario, que es regulada por la acción del llenado sobre los receptores de distensión ruminal (Forbes, 1986). Campling y Balch (1961) y Forbes (1995) demostraron, sin embargo, que éstos no son los únicos factores que regulan el consumo de alimentos. La tasa a cual las partículas se digieren y salen del rumen es un factor principal que afecta el límite físico de consumo que, a su vez, depende del contenido de fibra del alimento (Van Soest, 1982). Cuando el contenido de fibra es alto, el consumo voluntario es bajo (Minson et al., 1993). Esta combinación de bajo consumo y baja digestibilidad resulta en una reducción marcada del consumo de energía y nutrientes digestibles totales, que se refleja en un pobre desempeño de los animales. De los trabajos de Stobbs (1975) se puede concluir que un descenso promedio de 4% en digestibilidad se traduce

en una reducción de 8% en el consumo voluntario y de 20% en el consumo de energía digestible. Si se considera que para mantenimiento se requiere 50% o más de nutrientes digestibles, el descenso anterior de 4% en digestibilidad podría conducir a una reducción de 40% en producción animal.

El consumo voluntario de forraje y, por tanto, de energía, por rumiantes no lactantes es reducido cuando la dieta contiene menos de 7% de PC (Humphreys, 1982; Minson, 1990), siendo este nivel crítico posiblemente mayor para animales lactantes. Esta reducción es causada por una escasez del amonio disponible para la microflora del rumen y por un bajo nivel de absorción de aminoácidos a nivel del intestino delgado (Minson et al., 1993). En esta situación, la alteración de la estructura física de la fibra de la planta mediante molienda o peletizado ejerce poco o ningún efecto, ya que el bajo consumo voluntario es resultado directo del bajo nivel de nitrógeno y no del contenido de fibra de la planta (Minson, 1981).

Si la proteína es baja y la absorción de aminoácidos no es suficiente, puede ocurrir que los animales no utilicen las reservas de tejidos grasos (Orskov y Dolberg, 1985), o la energía en el forraje, aparentemente, se utilice para producir peso vivo y no para producir leche, fenómeno ampliamente documentado en vacas alimentadas con forrajes tropicales (Minson et al., 1993). La absorción de aminoácidos es deficiente cuando el contenido de proteína en el forraje es bajo o la conversión de ésta a aminoácidos en el rumen es alta y está acompañada de un bajo suministro de carbohidratos (Minson et al., 1993).

El ganado de carne puede manejarse bajo condiciones de producción estacional de forraje, con la posibilidad de obtener un crecimiento compensatorio en épocas de alta disponibilidad. Sin embargo, si se quiere alcanzar los rendimientos potenciales, los requerimientos nutricionales para vacas lactantes deben satisfacerse cada día, ya que la reducción prolongada en producción de leche no puede ser compensada posteriormente (Orskov y Dolberg, 1985).

Factores antinutricionales. Los factores antinutricionales presentes en los alimentos para animales están ampliamente distribuidos y son más comunes en aquellos forrajes no tradicionales. El consumo de éstos disminuye la utilización y la eficiencia de conversión y, por tanto, la productividad animal ocasionando, a veces, toxicidad y muerte de los animales (Makkar, 1993). A pesar de su amplia distribución, las gramíneas y leguminosas tropicales, excepto en algunos pocos casos, no presentan problemas de toxicidad (Humphreys, 1982). Los productores sólo tendrán que preocuparse por factores antinutricionales, si éstos se encuentran en cantidades significativas en la dieta basal de los animales.

El problema más frecuente se relaciona con la utilización de suplementos. La melaza, la urea, la gallinaza y algunos subproductos pueden causar problemas de toxicidad o trastornos metabólicos cuando no se utilizan adecuadamente. No obstante, en el sentido estricto, estos problemas no están relacionados con factores antinutricionales.

Producción de Leche con Pastos Tropicales

La posibilidad de obtener niveles aceptables de producción de leche utilizando pastos tropicales fue revisada por Stobbs y Thompson (1975), quienes concluyeron que bajo las condiciones de Australia, el consumo reducido de energía sería la causa principal de la baja producción de leche. Esta teoría ha sido con frecuencia utilizada para explicar lo que ocurre a través de todas las zonas tropicales del mundo. En consecuencia, para mejorar los niveles de producción de leche es esencial suministrar a los animales, incluyendo aquellos de doble propósito, suplementos ricos en energía. Por tanto, el uso de dietas altas en concentrados se ha generalizado en las zonas donde los forrajes son la fuente más barata de energía y proteína.

Aunque el ganado vacuno puede desarrollarse y producir con dietas relativamente bajas en el contenido de forrajes, existen varias razones por las cuales en condiciones tropicales éstos deben mantenerse en niveles altos:

- la función ruminal y la salud animal son mejores (Jung y Allen, 1995);
- los costos de producción de forraje son, por lo general, menores que los costos de producción de cultivos de grano (Jung y Allen, 1995); y
- los granos son básicos para la alimentación de la población (Stobbs y Thompson, 1975), o su precio limita el uso para la alimentación de animales (Chilliard, 1991).

La falta de una evaluación precisa sobre la calidad de la dieta ofrecida a los animales a nivel de finca conduce, a menudo, a suplementar con base en el comportamiento del hato, la evaluación subjetiva de las gramíneas disponibles o el retorno financiero esperado de la suplementación. En condiciones ideales, cualquier suplemento debe darse con base en el conocimiento y la comprensión de las deficiencias forrajeras, es decir, qué y cuánto come el animal y el valor nutritivo de lo consumido (Alden, 1981), una situación con frecuencia lejos de la realidad existente en el trópico.

Efectos de la Suplementación en el Ganado Doble Propósito

Bajo condiciones ideales se espera que los animales de doble propósito llenen sus requerimientos nutricionales a partir de las pasturas tropicales. Como esto es difícil de lograr en la mayoría de los casos, las estrategias de manejo de la nutrición son sinónimo de oferta óptima y del manejo de la relación forraje:concentrado suministrado a cada grupo de animales. Esto modificará el rendimiento de leche y los cambios en la

composición y dinámica del tejido corporal (Nicholson et al., 1994).

Consumo y digestibilidad

Se ha encontrado que la suplementación de vacas doble propósito ejerce un efecto de sustitución sobre el consumo de dietas basales, tanto cuando el suplemento se da como un forraje de alta calidad, por ejemplo, *Leucaena* (Muñga et al., 1992), o como concentrados ricos en proteína o energía, por ejemplo, semilla de algodón y melaza

(Osuji et al., 1995). Sin embargo, la tasa de sustitución es afectada por la proporción de suplemento en la dieta. Las respuestas se explican como resultado de los cambios en la digestibilidad de la dieta basal y, en consecuencia, en el llenado del rumen. El grado de esta respuesta no aparece consistente en la literatura (Khalili, 1993; Osuji et al., 1995) y, ocasionalmente, no se encuentran efectos significativos en el consumo de la dieta basal. Sin embargo, el consumo total de la dieta aumenta con la suplementación (Cuadro 1), probablemente

Cuadro 1. Efecto de varios tipos de suplemento en el consumo diario y total, y en la digestibilidad de la dieta total.

Dieta basal	Suplemento	CDB ^a (kg/día)	Dig. (%)	CMS ^b (kg/día)	Fuente
Gramínea Napier (<i>P. purpureum</i>)	Sin suplemento	6.3	54.0	6.3	Muñga et al. (1995)
	4 kg de <i>Leucaena</i> fresca	6.6	55.0	7.6	
	8 kg de <i>Leucaena</i> fresca	5.9	56.5	7.9	
	8 kg de <i>Leucaena</i> fresca + 1.2 kg afrecho de maíz	5.7	56.5	8.7	
Paja de trigo-avena a voluntad	1.35 kg de semilla algodón	5.4	59.1	6.7	Osuji et al. (1995)
	1.80 kg de semilla algodón	5.4	60.0	7.2	
	2.25 kg de semilla algodón	5.2	58.2	7.4	
	1.85 kg de melaza				
	+ 1.35 kg de semilla algodón	5.0	61.8	8.2	
	+ 1.80 kg de semilla algodón	4.8	63.9	8.5	
Heno de gramíneas a voluntad + 2 kg de algodón	+ 2.25 kg de semilla algodón	4.7	65.5	8.8	Khalili (1993)
	Sin suplemento	8.2	65.7	10.5	
	1.5 kg de melaza	7.4	70.7	10.8	
	3.0 kg de melaza	6.6	72.1	11.5	
	4.5 kg de melaza	5.6	72.9	12.1	
	4.5 kg de melaza + 0.6 kg de NaHCO ₃	5.7	70.6	12.8	
Heno de gramíneas	Sin suplemento	9.0	51.6	9.1	Khalili et al. (1992)
	2.5 kg de harina de trigo	9.5	57.1	11.6	
	5.0 kg de harina de trigo	9.1	61.1	13.3	
Heno de avena y cebada	Sin suplemento	9.0	64.9	9.0	
	2.5 kg de harina de trigo	8.8	67.2	10.7	
	5.0 kg de harina de trigo	7.9	70.3	12.3	
Napier (<i>P. purpureum</i>)	Sin suplemento	7.8		7.8	Muñga et al. (1992)
	4 kg de <i>Leucaena</i> fresca	8.2		9.3	
	8 kg de <i>Leucaena</i> fresca	8.2		10.4	
Heno de estrella (<i>C. nlemfuensis</i>)	2 + 4 + 0.25 (kg de S, L, M) ^c	7.8		10.9	Sandoval y Leaver (sin publicar)
	4 + 8 + 0.50 (kg de S, L, M)	6.2		12.1	
	2 + 4 + 0.25 (kg de S, L, M)	8.0		11.0	
	4 + 8 + 0.50 (kg de S, L, M)	6.2		12.2	

a. Dieta basal consumida.

b. Materia seca total consumida.

c. S = sorgo, L = *Leucaena*, M = melaza.

como resultado de la mayor digestibilidad. El punto actualmente en controversia es si la mayor digestibilidad de la dieta se debe a la mayor digestibilidad del suplemento, o es el resultado del estímulo de éste sobre la digestión en el rumen y en todo el tracto digestivo.

Rendimiento y composición de la leche

En vacas de alta producción lechera, el efecto de la suplementación con concentrados es bien conocido. La respuesta a la suplementación se encuentra en el orden de 1 kg de leche por cada kilogramo de suplemento (McLachlan et al., 1994). Sin embargo, el ganado lechero en pasturas tropicales tiene una respuesta inferior, siendo el promedio entre de 0.3 kg de leche por cada kilogramo de suplemento (Combellas et al., 1979; Archibald, 1985); no obstante, Jennings y Holmes (1985) encontraron una relación 0.8:1. Los datos sobre el efecto de la suplementación en vacas de doble propósito lactantes bajo condiciones tropicales son aún más escasos y difíciles de evaluar, ya que la leche consumida por el ternero no se tiene en cuenta y la producción sólo se refiere a leche vendible (Cuadro 2).

Los aumentos en la cantidad de leche vendible como resultado del suministro de concentrados ricos en proteína se encuentran entre 88 y 280 g (Little et al., 1994a; Tegegne et al., 1994a, 1994b); resultados similares se han encontrado con el suministro de Leucaena (Flores-Ramos, 1979; Combellas y Martínez, 1982; Muir et al., 1992). Aunque la energía se considera el recurso primario más limitativo (Stobbs y Thompson, 1975), los resultados reportados en la literatura tienden a mostrar que la respuesta a proteína se debe a un mayor flujo de ésta hacia el tracto digestivo inferior, lo que estimula la movilización de reservas de tejidos grasos (Orskov y Dolberg, 1985). Aun así, los beneficios con el uso de fuentes tradicionales de proteína sobrepasante —harina integral

de pescado, nuez molida, harina integral de soya— no son claros. Combellas y Martínez (1982), después de revisar los trabajos realizados en América tropical concluyeron que, debido al alto costo de las fuentes, no se justifica suplementar proteína para alcanzar una respuesta entre -0.5 y 1 kg en el rendimiento de leche. El uso de leguminosas forrajeras disponibles localmente no favorece, muchas veces, respuestas significativas; así, Mosquera y Lascano (1992) no encontraron respuesta de vacas de doble propósito cuando tuvieron acceso a *Centrosema* spp. en banco de proteína, y García et al. (1994a, 1994b) encontraron que el suministro de Leucaena no aumentó la producción de leche de vacas en pastoreo. Probablemente, la respuesta se relaciona con varios factores como calidad de las gramíneas y las leguminosas, estado de lactancia y potencial genético de los animales. No obstante, el uso de leguminosas forrajeras puede ser importante para reemplazar granos importados (Combellas y Martínez, 1982).

En las Figuras 1 y 2, con base en los datos del Cuadro 2, se presentan los promedios de los aumentos en leche vendible obtenidos al suministrar a vacas de doble propósito un rango de suplementos. Es evidente que, a menor nivel de suplementación, la respuesta es proporcionalmente mayor, siendo igualmente probable que esta respuesta sea mayor, a medida que el ambiente en el rumen mejore. La deficiencia y el desbalance energía/nitrógeno se pueden evitar si se utilizan cantidades pequeñas de suplemento; por ejemplo, melaza o melaza-urea, alcanzando como resultado una producción mayor a la esperada (Cuadro 2); sin embargo, la respuesta es consistente cuando los suplementos se convierten en una parte importante de la dieta. Bajo estas condiciones, la digestión en el rumen posiblemente no sea una limitación y, en consecuencia, es más probable que la respuesta a la suplementación represente el potencial de las vacas para alcanzar el nivel máximo de producción.

Cuadro 2. Efecto de la suplementación en el rendimiento y la composición de leche (grasa o proteína/suplemento).

Dieta basal	Suplemento (base seca)	Leche vendida (kg/día)	Incremento (kg leche/kg suplemento)	Grasa (g/kg)	Proteína (g/kg)	Estado de lactancia	Fuente
Pasto Napier (<i>P. purpureum</i>)	— 1 kg de <i>Leucaena</i> 2 kg de <i>Leucaena</i> 2 kg de <i>Leucaena</i> + 1 kg afrecho de maíz	5.1 5.4 5.5 6.5	— 0.29 0.19 0.43		22.6 23.4 23.2 23.1	Temprano	Muinga et al. (1995)
Heno de gramíneas	— 2.2 kg de afrecho de trigo 4.5 kg de afrecho de trigo	4.1 5.6 6.8	— 0.68 0.60	40.6 40.3 40.1	25.2 26.1 26.9	Temprano	Khalili et al. (1992)
Heno de avena-cebada	— 2.2 kg de afrecho de trigo 4.5 kg de afrecho de trigo	5.5 6.7 8.1	— 0.55 0.58	37.9 38.9 40.0	27.0 27.9 27.5		
<i>Vicia sativa</i> a voluntad	— 2.2 kg de afrecho de trigo 4.5 kg de afrecho de trigo	6.4 7.2 7.9	— 0.32 0.30	40.7 39.5 41.7	24.9 25.5 26.3	Temprano	Khalili et al. (1994)
<i>Lablab purpureus</i> a voluntad	— 2.2 kg de afrecho de trigo 4.5 kg de afrecho de trigo	6.0 7.6 7.9	— 0.64 0.38	39.0 41.3 39.5	27.2 26.5 28.4		
Heno de estrella (<i>Cynodon</i> sp.)	1.8 + 1 + 0.2 (kg de S, L, M)* 3.6 + 2 + 0.4 (kg de S, L, M) 1.8 + 1 + 0.2 (kg de S, L, M) 3.6 + 2 + 0.4 (kg de S, L, M)	5.4 6.0 3.5 4.1	— 0.20 — 0.20	30.0 29.4 29.0 28.7	27.5 29.1 29.3 30.4	Temprano	Sandoval y Leaver (sin publicar)
<i>Melinis minutiflora</i> gramínea (pastoreo)	— 1 kg de suplemento 2 kg de suplemento	12.0 12.3 13.1	— 0.25 0.55	33.9 32.1 34.9		Temprano	Galvao et al. (1974)
Pastoreo	1 kg de suplemento 2 kg de suplemento 3 kg de suplemento	8.7 9.0 9.4	— 0.29 0.34	42.3 42.7 42.5			Labe et al. (1973)
Pasto Napier (<i>P. purpureum</i>)	1 kg de <i>Leucaena</i> 2 kg de <i>Leucaena</i>	7.3 7.7 8.3	— 0.36 0.45	38.0 ns ^b ns	27.0 ns ns	Temprano	Muinga et al. (1992)
Pasto pangola en pastoreo	— 0.12 kg de mel-urea	4.2 4.4	— 1.66				Becerra y David (1991)

(Continúa)

Cuadro 2. (Continuación).

Dieta basal	Suplemento (base seca)	Leche vendida (kg/día)	Incremento (kg leche/kg suplemento)	Grasa (g/kg)	Proteína (g/kg)	Estado de lactancia	Fuente
<i>Brachytaria</i> sp.	— 0.5 kg de mel-urea + 0.5 kg de pulidura de arroz 0.5 kg de mel-urea + 0.5 kg de pulidura de arroz + 0.5 kg de semilla algodón 0.5 kg de mel-urea + 0.5 kg de pulidura de arroz + 1.0 kg de semilla algodón	3.0 4.5 4.8 4.1	— 1.50 1.20 0.55			188 días desde el parto	Anzola et al. (1995)
Pastoreo	— 0.48 kg de mel-urea 0.25 kg de mel-urea	3.7 4.2 2.1 3.5	— 1.0 — 5.71			120 días desde el parto	Dominguez et al. (1995)
Paja de trigo-avena a voluntad	Semilla de algodón: 1.35 kg 1.80 kg 2.25 kg Semilla de algodón + melaza: 1.35 kg + 1.85 kg 1.80 kg + 1.85 kg 2.25 kg + 1.85 kg	2.8 3.0 3.3 3.1 3.4 3.3	— 0.44 0.56 (0.16) 0.16(0.67) 0.12(0.22)				Osuji et al. (1995)
Pastoreo	— 2 kg de suplemento + residuos de cosecha	1.8 3.4	— 0.8			Temprano	
Pastoreo	— 1 kg de suplemento 2 kg de suplemento	4.7 5.2 4.9	— 0.5 0.1			112 días desde el parto	Paz et al. (1981)
Pastoreo	— 1 kg de semilla de algodón	0.7 1.0	— 0.26			250 días de lactancia	Ogodja et al. (1993)

a. S = Sorgo, L = *Leucaena*, M = Melaza.

b. ns = no significativo.

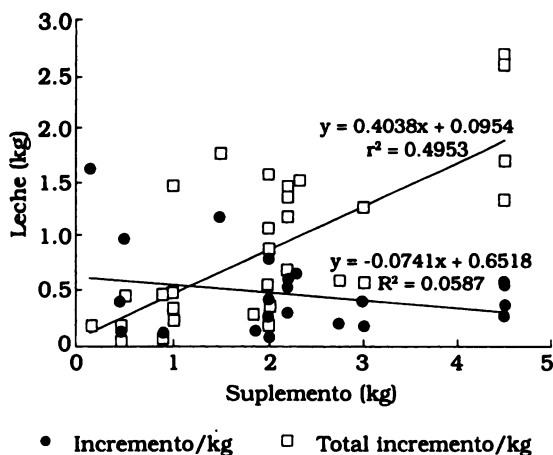


Figura 1. Efecto del suplemento de vacas de doble propósito sobre el rendimiento de leche para venta.

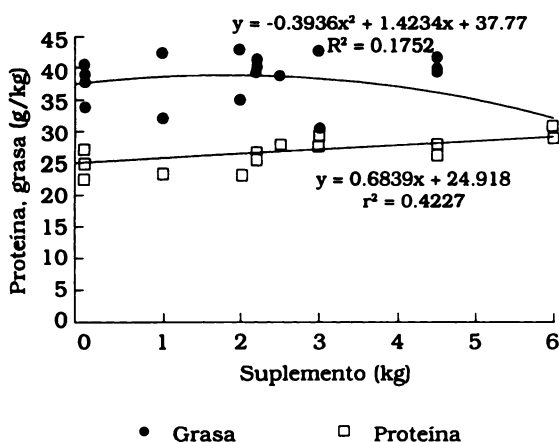


Figura 2. Efecto del suministro de concentrado en los contenidos de proteína y grasa de la leche de vacas de doble propósito.

Por otra parte, a pesar del valor que los componentes de la leche representan para el precio final, en los países en desarrollo se presta poca atención a la calidad de ésta y los mercados locales y escenarios económicos no imponen una presión alta en este sentido. La suplementación de vacas cruzadas no ha resultado en cambios cuantitativos en los componentes de la leche (Figura 2). La principal respuesta ha sido

en aumentos pequeños en el contenido de proteína, mientras que la grasa varía más de lo esperado con las dietas comúnmente utilizadas. Ambas tendencias en la composición de la leche son compatibles con las respuestas esperadas en ganado de leche, lo que permite manipular, de esta manera, dicha composición.

En el futuro, la investigación deberá enfatizar en los cambios en la composición de la leche que resultan del manejo de la nutrición. Existen evidencias que muestran respuestas diferenciales en las diferentes razas animales como resultado del fraccionamiento nutricional, lo cual puede causar un comportamiento de las vacas lecheras ligeramente diferente del esperado; no obstante, es necesario investigar más en este sentido.

Cambios en peso vivo animal

Bar-Peled et al. (1995) encontraron que vacas Friesian de doble propósito no aumentaron el consumo de alimentos para llenar los requerimientos nutritivos necesarios para la producción máxima de leche; como consecuencia, se observaron pérdidas de peso y cambios en la condición corporal de los animales. Por otra parte, la suplementación reduce las pérdidas de peso de animales cruzados (Muinga et al., 1992, 1995) y, ocasionalmente, se logran aumentos de peso vivos (Osuji et al., 1995) (Cuadro 3). La magnitud de la respuesta es condicionada por la calidad y cantidad de la dieta basal y el suplemento, así como por el estado nutricional previo de los animales. La lactancia es un factor adicional en la magnitud de la respuesta, ya que significa demandas nutricionales adicionales (Tegegne et al., 1994b).

Las respuestas de las vacas de doble propósito al suministro de suplemento son diferentes a las esperadas con vacas lecheras especializadas, debido a que las prioridades de fraccionamiento de energía son afectadas por el genotipo y aquellos pueden desviar más energía y proteína para producir tejido corporal y menos para producir leche (Osuji et al., 1995). Las

Cuadro 3. Efecto de la suplementación en el desempeño de la vaca y del ternero.

Tratamiento	Cambio en peso vivo		Fuente
	Vaca	Ternero	
Sin suplemento	-0.20	0.20	Dominguez et al. (1995)
0.5 kg bloque de mel-urea	0.24	0.25	
Sin suplemento	—	0.32	Anzola et al. (1995)
0.3 kg bloque de mel-urea	—	0.37	
Sin suplemento	-0.12	0.34	
0.5 kg bloque de mel-urea + 0.5 kg de pulidura de arroz	-0.30	0.42	
0.5 kg bloque de mel-urea + 0.5 kg de pulidura de arroz + 0.5 kg de semilla algodón	-0.06	0.46	Tegegne et al. (1994)
0.5 kg bloque de mel-urea + 0.5 kg de pulidura de arroz + 1.0 kg de semilla algodón	-0.03	0.54	
Sin suplemento	—	0.35	
Con suplemento	—	0.48	
Sin suplemento	-0.31	0.06	Little et al. (1994)
Con suplemento	-0.23	0.13	
Sin suplemento	-0.25	0.08	
Con suplemento	-0.17	0.11	
Sin suplemento	-0.13	0.14	Little et al. (1991)
Con suplemento	-0.10	0.20	
Sin suplemento	-0.03	0.14	
0.45 kg de mani	-0.02	0.18	
0.85 kg de mani	-0.02	0.20	Muinga et al. (1995)
Sin suplemento	-0.86	—	
4 kg de <i>Leucaena</i> fresca	0.18	—	
8 kg de <i>Leucaena</i> fresca	0.21	—	
8 kg de <i>Leucaena</i> fresca + 1.2 kg de afrecho de maíz	0.54	—	Muinga et al. (1992)
Sin suplemento	-0.56	—	
4 kg de <i>Leucaena</i> fresca	-0.23	—	
8 kg de <i>Leucaena</i> fresca	-0.18	—	

razas utilizadas en los cruzamientos son un factor importante; parece, por ejemplo, que las vacas Brahman puras fraccionan la energía con preferencia hacia la glándula mamaria (Hunter y D'Occhio, 1995), debido, probablemente, a que esta raza ha estado sometida por algún tiempo a la selección hacia producción de leche. Sin embargo, se encontró que los cruces F_n de *Bos taurus* x Brahman no presentan un patrón claro de fraccionamiento de los nutrientes,

probablemente como resultado de la proporción de genes heredados en cada cruce. Aunque no existe información en cuanto a *B. indicus*, con excepción de Brahman, la raza Cebú y el ganado criollo se mejoran comúnmente para producción de carne, lo que probablemente ejerce un efecto sobre el fraccionamiento de los nutrientes. Por otra parte, se ha sugerido que el costo energético de los cambios en peso vivo pueden diferir en ambientes tropicales bajo

condiciones de estrés por calor, especialmente en la proporción de los componentes corporales.

Cambios en peso vivo de terneros

Los terneros tienen un mejor desempeño cuando sus madres han sido suplementadas (Little et al., 1994a; Tegegne et al., 1994a) (Cuadro 3), probablemente como resultado del aumento en la cantidad de leche disponible (Tegegne et al., 1994a). Sandoval y Leaver (sin publicar) encontraron que los terneros consumían más leche cuando las madres se suplementaban. Los resultados indican que la mayor cantidad de leche producida como respuesta a la suplementación no necesariamente se refleja en una mayor cantidad de leche para venta. La habilidad lechera de las vacas es un factor importante y, al igual que la relación leche vendible:leche residual, puede influir sobre la interpretación de los resultados, si la leche consumida por los terneros no se estima adecuadamente.

Los terneros que reciben suplementación en forma adicional al amamantamiento restringido tienen un mejor desempeño que aquellos no suplementados (Ugarte, 1978; Little et al., 1994b). Los terneros suplementados también presentan un desarrollo más rápido del rumen y acceden más rápidamente a fuentes adicionales de nutrientes (Ugarte, 1992). El rango de respuestas a la suplementación se relaciona con la calidad de la dieta basal, la cantidad de leche amamantada y el estado nutricional previo. La decisión sobre cuándo y cuánto suplementar se debe basar en el retorno económico de esta práctica (Ugarte, 1992).

Reproducción

La reducción del periodo abierto de la vaca es probablemente el área más importante para mejorar la eficiencia reproductiva. La búsqueda de mejores estrategias de alimentación es un desafío para garantizar el retorno de la vaca a la actividad normal de reproducción después

del parto (Robinson, 1990). Little et al. (1994a) encontraron que el suministro entre 0.5 y 1 kg de suplemento proteico como semilla de algodón o torta de ajonjolí durante la época seca mejoró la parición de 19% a 64% en un intervalo de 2 años, y Anzola et al. (1990) encontraron un aumento en concepción de 30% a 70% en vacas con acceso a suplemento nutricional. Por otra parte, la actividad de la función ovárica no mejoró en vacas suplementadas con 0.3 y 0.5 kg de melaza-urea en bloques (Dominguez et al., 1995), o con el suministro de más de 3 kg/día de suplemento (Paz et al., 1981); no obstante, Anzola et al. (1990) encontraron un aumento en el número de días entre parto y concepción (de 30 a 70) cuando las vacas se suplementaron; aunque este aumento en el intervalo entre partos no es deseable, es el resultado de la mayor producción de leche y la movilización de tejido graso en el estado temprano de lactancia. Como resultado, los suplementos posiblemente aumentan el déficit de energía y retardan el retorno a la actividad reproductiva normal (Robinson, 1990).

Efecto del Amamantamiento Restringido en el Desempeño de Vacas de Doble Propósito

El efecto de la relación vaca-ternero sobre el comportamiento animal en sistemas de doble propósito aún no está claro. Los resultados de los diferentes trabajos son contradictorios, especialmente aquellos que involucran *B. taurus* o *B. indicus* y sus cruzamientos. Sin embargo, se ha encontrado un conjunto general de respuestas bastante consistentes que se describen en el Recuadro 1. Es importante señalar que las principales respuestas se han encontrado con razas *B. indicus* o sus cruzamientos; sin embargo, las razas lecheras *B. taurus* en sistema de doble propósito presentan muchas de estas características que responden de manera diferente.

Recuadro 1. Comportamiento de vacas y terneros en sistemas de doble propósito, asociado con amamantamiento restringido.

Comportamiento	Doble propósito
Efecto sobre la vaca:	
Rendimiento de leche	mayor
Longitud de la lactancia	mayor
Mastitis	menor
Periodo de parto a concepción	mayor
Contenido de grasa en leche para venta	menor
Dificultades de ordeño	mayor
Pérdida de peso	menor
Efecto sobre el ternero:	
Ganancia de peso vivo	mayor
Salud	mayor
Mortalidad	menor

Adaptado de Alvarez-Flores (1991).

Efectos sobre la vaca

Longitud de la lactancia. La longitud de la lactancia ha sido el problema principal cuando los sistemas de producción de leche se han basado en vacas Cebú o cruzadas con esta raza. La lactancia corta es un problema que parece estar relacionado con *B. indicus* o sus cruzamientos y no con Holstein y otras razas especializadas en producción de leche, cuando se utilizan en sistemas de doble propósito con amamantamiento restringido, aunque sí se presentan dificultades para el ordeño, como se discutirá más adelante. Existe una relación aparente entre la proporción de genes derivados de *B. indicus* y la incidencia de lactancias cortas; mientras más grande es esta proporción, mayor es la probabilidad de ocurrencia de este tipo de lactancias (Alvarez et al., 1980). Por otra parte, el estímulo del ternero mediante la lactancia restringida parece reducir la incidencia de lactancias cortas (Alvarez et al., 1980; Edwards, 1985) y asegurar la

longitud normal de ésta en animales cruzados (Preston y Vaccaro, 1989). Las evidencias de respuesta fisiológica que pueden ayudar a explicar este comportamiento de animales cruzados son escasas, debido a la corta duración de los ensayos con este tipo de animales y a la tendencia de medir únicamente la producción de leche.

Un punto importante es determinar la longitud de la lactancia normal. Tibbo et al. (1994) en una revisión de literatura a partir de 1970, encontraron que el promedio de la longitud de la lactancia en vacas Jersey era de 317 ± 4.5 días y de 327 ± 6.1 en vacas Holstein F_1 ; no obstante, el rango varía entre 251 y 420, y entre 248 y 387 días, respectivamente. En América tropical hay poca información sobre este parámetro; sin embargo, De Alba y Kennedy (1985) encontraron lactancias de 286 ± 12 y 270 ± 19 días para vacas F_1 y 3/4 Jersey.

Rendimiento de leche. Existen respuestas diferentes al amamantamiento, atribuibles a la nutrición. Las vacas con amamantamiento del ternero producen más leche que vacas sin amamantamiento, si se considera la cantidad de leche consumida por el ternero. En vacas cruzadas, el estímulo del ternero es importante para obtener parte de la leche destinada al consumo humano (Preston y Vaccaro, 1989) y para una extracción más eficiente (Cuadros 4 y 5).

Thomas et al. (1981) encontraron mayores rendimientos de leche en vacas cruzadas *B. taurus* que amamantaban el ternero, mientras que Hippen y Escobar (1984) encontraron una respuesta similar en vacas Holstein. En vacas Jersey se encontró que el amamantamiento del ternero tiene un efecto remanente en el aumento de la producción de leche, aún después de que éste ha terminado (Everitt y Phillips, 1971; Chandler y Robinson, 1974); una respuesta similar encontraron Walsh (1974), Fulkerson et al. (1978) y Bar-Peled et al. (1995) en vacas Holstein.

Cuadro 4. Efecto del amamantamiento restringido en la producción de leche para venta, residual y total (kg/día).

Tipo de ganado	Tipo de amamantamiento						Fuente
	Restringido			No restringido			
	Leche para venta	Leche consumida por el ternero	Leche residual ^a (%)	Leche total	Leche para venta	Diferencia ^b (%)	
Lechero	6.2	6.9	52.7	13.1	10.7	22.4	Ugarte et al. (1975)
DP ^{a,c}	4.7	6.6	58.4	11.3	6.3	79.4	Ugarte y Preston (1972)
Lechero	8.4	6.8	44.7	15.2	8.0	90.0	
Lechero	11.8	3.8	24.4	15.6	11.9	31.1	Ugarte y Preston (1973)
Lechero	9.3	6.4	40.8	15.7	11.9	31.9	
Lechero	7.9	2.7	25.5	10.6	8.8	20.5	Gaya et al. (1977)
Lechero	5.1	15.0	74.6	20.1	18.8	6.9	Thomas et al. (1981)
Lechero	9.0	6.1	40.4	15.1	9.0	67.8	Velazco et al. (1982)
DP	3.7	1.4	27.5	5.1	3.5	45.7	Sahn et al. (1995)
Lechero	11.1	2.0	15.3	13.1	10.8	21.3	
Lechero	14.1	9.3	39.7	23.4	25.0	-6.4	Boden y Leaver (1994)
Lechero	20.4-11.8	29.6-38.2	59.3-76.5	50.0	42.6	17.3	Barra-Peled et al. (1995)
DP				7.1	5.7	24.6	Margerison et al. (1994)
Promedio			42.7			34.8	

a. Proporción para terneros del total (leche para venta más leche consumida por el ternero).

b. Diferencia porcentual entre leche total y leche para venta.

c. DP = Doble propósito.

Los resultados recientes indican que la respuesta al amamantamiento restringido puede estar relacionada con el estado de lactancia de las vacas al momento del ensayo. En el estado de lactancia temprana, la respuesta es mayor (Bar-Peled et al., 1995), pero el potencial genético influye en la respuesta de la vaca. La teoría del inhibidor de la retroalimentación de la lactancia (Wilde y Peaker, 1990) ayuda a explicar el comportamiento del ganado de doble propósito, así como las incidencias de la lactancia corta, y es una forma para asegurar el impacto potencial del amamantamiento restringido y su interacción con la nutrición (Cuadro 6).

Composición de la leche. Vaccaro (1991) explica que los mayores valores en composición de la leche encontrados con vacas de doble propósito en comparación con vacas especializadas son debidos a las dietas tropicales altas en fibra y a las bajas

producciones por día y por lactancia obtenidas con este tipo de vacas. Boden y Leaver (1994), Margerison et al. (1994), Barra-Peled et al. (1995) y Sahn et al. (1995) demostraron que, en vacas con amamantamiento restringido, la composición de la leche para venta puede alterarse, principalmente en términos de una reducción en los contenidos de grasa y en menor proteína (Cuadro 7). Respuestas similares encontraron El-Sayed et al. (1991) con búfalos, en los cuales el amamantamiento restringido redujo la grasa en la leche, pero no afectó la proteína. Según Boden y Leaver (1994), lo anterior se debe al consumo por parte del ternero de la leche residual alta en grasa después del ordeño normal. No obstante, también puede ser el resultado de los cambios en la proporción relativa de la leche extraída durante el ordeño y la que permanece en la ubre para consumo de los terneros, de la misma manera como son afectados la

Cuadro 5. Efecto del ordeño y el tipo de amamantamiento en el rendimiento de leche total (consumida por el ternero y para venta).

Rendimiento de leche	Tipo de amamantamiento ^a					Fuente
	1x1	1x1at	2x2am	2x2at	2x2	
Leche para venta			5.1		0.0	Thomas et al. (1973)
Consumo del ternero			15.0		21.3	
Total			20.1		21.3	
Leche para venta	4.4		5.1			Teeluck et al. (1981)
Consumo del ternero	2.7		2.8			
Total	7.1		7.9			
Leche para venta			7.0		5.4	Gaya et al. (1978)
Consumo del ternero			2.1		4.0	
Total			9.1		9.4	
Leche para venta			5.1		2.7	Ugarte y Preston (1972)
Consumo del ternero			5.0		8.2	
Total			10.1		10.9	
Leche para venta			9.3		6.2	Ugarte y Preston (1972)
Consumo del ternero			5.8		7.9	
Total			15.1		14.1	
Leche para venta	8.1	10.0			11.2	Alvarado et al. (1984); Alvarado y Paredes (1984)
Consumo del ternero	7.2	8.2			6.5	
Total	15.3	18.2			17.7	
Leche para venta			13.4		9.0	Ugarte y Preston (1973)
Consumo del ternero			2.6		6.8	
Total			16.0		15.8	
Leche para venta			10.1	12.6		Ugarte (1976)
Consumo del ternero			4.4	3.6		
Total			14.5	16.2		
Leche para venta			17.2	18.3		Ugarte (1976)
Consumo del ternero			2.9	1.9		
Total			20.1	20.2		
Leche para venta	12.6	8.0	12.8		10.4	Sandoval y Leaver (1995)
Consumo del ternero	5.5	10.2	4.1		9.4	
Total	18.1	18.2	16.9		19.8	
Leche para venta	4.2	2.8	5.5		4.3	Sandoval y Leaver (sin publicar)
Consumo del ternero	1.9	3.5	1.6		2.9	
Total	6.1	6.3	7.1		7.2	
Leche para venta		3.8	5.7			Sandoval y Leaver (sin publicar)
Consumo del ternero		3.3	1.4			
Total		7.1	7.1			

a. 1x1 = Un ordeño diario con amamantamiento; 1x1at = Un ordeño en la mañana y amamantamiento sin ordeño en la tarde; 2x2am = Dos ordeños diarios con amamantamiento en el de la mañana; 2x2at = Dos ordeños diarios con amamantamiento en el de la tarde; 2x2 = Dos ordeños con amamantamiento.

Cuadro 6. Interacciones entre nutrición y amamantamiento restringido del ternero y su efecto en algunos parámetros de producción.

Parámetro	Un ordeño + amamantamiento		Dos ordeños + amamantamiento	
	Baja	Alta	Baja	Alta
Suplementación:				
Leche para venta (kg/día)	3.47	4.09	5.43	5.99
Leche consumida por el ternero (kg/día)	3.14	3.43	1.36	1.36
Leche total (kg/día)	6.62	7.53	6.79	7.36
Grasa en leche para venta (g/kg)	29.00	28.70	30.00	29.40
Proteína en leche para venta (g/kg)	29.30	30.40	27.50	29.10
Grasa para venta (kg/día)	0.23	0.27	0.24	0.27
Proteína para venta (kg/día)	0.19	0.21	0.19	0.23

FUENTE: Sandoval y Leaver (sin publicar).

Cuadro 7. Efecto del tipo de amamantamiento en la composición de la leche para venta (g/kg).

	Amamantamiento normal		Amamantamiento restringido		Fuente
	Grasa	Proteína	Grasa	Proteína	
	40.4	32.6	28.8	35.0	Boden y Leaver (1994)
	32.0	31.2	29.0	30.9	Margerison et al. (1994)
	34.9	33.3	33.1	31.4	Sahn et al. (1995)
	31.6	30.7	30.7	30.1	Barra-Peled et al. (1995)
	48.4	37.7	34.3	38.2	Sandoval y Leaver (1995)
Promedio	37.4	33.1	31.2	33.2	

producción total de grasa y la proteína de acuerdo con el grado de extracción de leche (Kronh et al., 1990).

Dificultades en el ordeño. El pobre comportamiento del ganado de doble propósito cuando se ordeña sin el estímulo del ternero fue mencionado por primera vez en 1934 por Sayer (citado por Black, 1985), quien consideró que una vaca que no da leche no siempre es una mala lechera. La resistencia a la bajada de la leche está, aparentemente, relacionada con el genotipo *B. indicus* (Alvarez et al., 1980). Phillips (1993) sostiene que la condición anterior no ocurre en razas lecheras *B. taurus*. Sin embargo, Boden y Leaver (1994) y Barra-Peled et al. (1995) encontraron que vacas Holstein, manejadas con amamantamiento restringido, presentaron un comportamiento

similar al de vacas de doble propósito. Según Chamberlain (1989), el comportamiento del ganado *B. taurus* es una consecuencia de la relación entre bajada de la leche y el estímulo por la presencia del ternero.

Este problema se ha atribuido a la falta de liberación de oxtocina, como resultado de la ausencia del ternero al momento del ordeño. Barra-Peled et al. (1995) encontraron mayor liberación de esta hormona en vacas lecheras ordeñadas con amamantamiento del ternero seis veces por día, presentándose una reducción en los niveles de control en el momento del destete de los terneros. Es importante señalar que este tipo de trabajo no ha sido realizado con vacas Cebú o doble propósito. Sin embargo, hay evidencias de

inhibición central y periférica de la liberación de oxitocina en vacas lecheras con eyección anormal de la leche o en situaciones de estrés en ambientes poco familiares (Blum et al., 1989). Estas evidencias pueden aplicarse a vacas de doble propósito cuando se ordeñan sin el ternero al pie, lo cual es un factor de manejo potencialmente estresante para este tipo de ganado.

Pérdida de peso vivo. Everitt y Phillips (1971), Ugarte y Preston (1975) y Barra-Peled et al. (1995) encontraron que vacas que amamantaban el ternero ganaban menos o perdían peso, en comparación con vacas que no estaban amamantando el ternero, debido a la mayor producción de leche y, por consiguiente, a la movilización de tejido animal. Por otra parte, Thomas et al. (1981) y Velazco et al. (1982) encontraron que vacas Holstein que amamantaban el ternero después del ordeño mecánico, producían más leche y perdían menos peso que aquellas a las cuales se les removía el ternero 3 a 5 días después del parto. Se plantea la hipótesis de que el estrés causado por el retiro del ternero estimula la producción de adrenalina y la demanda por glucosa, ocasionando una mayor movilización de reservas corporales (Preston y Vaccaro, 1989). En este sentido es necesario realizar más investigación con ganado de doble propósito.

Incidencia de mastitis. La incidencia de esta enfermedad es menor en vacas que amamantan el ternero, en comparación con aquellas ordeñadas sin ternero (Preston, 1972 y 1975; Alvarez et al. 1980; Ugarte y Hamann y Stanitzke, 1990; Boden y Leaver, 1994), y cuando ésta se presenta su duración e intensidad es menor en las primeras (Tsolov et al., 1989). El ordeño mecánico causa un mayor riesgo de infección que el ordeño manual con amamantamiento del ternero, debido a diferencias inherentes a ambos métodos que causan cambios diferenciales en la conformación de los pezones (Hamann y Stanitzke, 1990).

Período entre parto y concepción. En vacas que amamantan el ternero se ha observado un aumento en el tiempo de anestro posparto y, en consecuencia, en el

intervalo entre partos (Wettermann et al., 1978; Carruthers y Hafs, 1980; Thomas et al., 1981; Escobar et al., 1984; Williams, 1990). El incremento en la intensidad del amamantamiento (Wetterman et al., 1978) o la mayor duración de éste (Thomas et al., 1981) parecen tener un efecto adicional en el intervalo entre partos, pero las respuestas no han sido consistentes (León y Vaccaro, 1984). Este efecto no se ha observado cuando se ha aumentado la frecuencia del ordeño (Carruthers y Hafs, 1980) y parece no estar relacionado con la pérdida de peso posparto (Short et al., 1972) o estado nutricional (Thomas et al., 1981). Existe evidencia de que el retardo en la reanudación de la secreción de la hormona luteinizante en vacas que amamantan se relaciona con el aumento del intervalo de anestro posparto (Carruthers y Hafs, 1980).

Efecto sobre el ternero

Aumento de peso. En general, los terneros criados por la vaca tienen un mejor desempeño y ganan más peso vivo que aquellos criados artificialmente (Fernández et al., 1977; Alvarez et al., 1980; Black, 1985; Metz, 1987). Este comportamiento se explica por el mayor estímulo del orificio reticular que se manifiesta como una mejor utilización de la leche cuando el ternero la toma de la vaca y no de un balde (Orskov, 1983; Wise et al., 1984). La conversión biológica de la leche en terneros alimentados con leche en balde es de 8.8 kg/kg de PV a los 6 meses y de 9.5 kg/kg de PV a los 10 meses de edad (Agyemang et al., 1993). Se han encontrado eficiencias tan altas como 4.5 kg/kg de PV para terneros alimentados en balde; sin embargo, eficiencias similares (3.9 kg/kg de PV) se han encontrado con amamantamiento restringido (Sanh et al., 1995).

Existe, probablemente, un efecto de la raza en la utilización de la leche tomada directamente de la vaca, tal como lo demostraron Alencar y Mello (1989) en terneros Nelore, los cuales presentaron una tasa de conversión inferior que terneros Canchim (5.4 vs. 7.5 kg/kg de PV). Por otra parte, con el uso del modelo ILCA (ILCA,

1983) se concluye que el amamantamiento restringido resulta en mejor desarrollo del ternero, siempre y cuando la extracción de leche de las vacas se ajuste según su potencial de producción para proporcionar, así, al ternero la leche suficiente para un crecimiento adecuado. El modelo permite analizar los efectos de diferentes proporciones de leche residual para consumo del ternero, que pueden resumirse diciendo que, entre mayor sea la cantidad de leche residual, mayor será la tasa de crecimiento de los terneros. No obstante, en la práctica el amplio rango de producción de leche con vacas *B. indicus* y de doble propósito hacen imposible seleccionar una sola opción. Sin embargo, el modelo ILCA estima que la máxima extracción de leche en vacas criollas es de 30% y en vacas cruzadas puede llegar a 60%. Como se mencionó anteriormente (Cuadro 5), la proporción de leche residual es altamente variable y, por tanto, constituye una fuente potencial de error cuando se evalúan la producción de leche y la tasa de crecimiento del ternero; por ejemplo, se ha encontrado que terneros Brahman puros presentan una tasa de crecimiento y un peso al destete mayor que terneros F₁ Brahman x Simmental (120 vs. 100 kg), lo cual es inversamente proporcional a la leche para venta (1.8 vs. 3.1 kg/día). El consumo de leche se correlaciona con la tasa de crecimiento del ternero (Ugarte y Preston, 1973), y aunque esta relación permanece significativa cuando se suministra alimento concentrado al ternero, el consumo de leche

explica sólo un tercio de la variación en peso vivo (Alvarez y Preston, 1976).

Existe poca información sobre la calidad y cantidad de leche residual bajo diferentes sistemas y manejos del amamantamiento restringido, aunque sí hay evidencia del efecto marcado que éste tiene sobre la composición de la leche (Cuadro 8); y contrario a lo que se cree, la leche residual puede ser insuficiente como la única fuente nutritiva para terneros cruzados en crecimiento (Sandoval y Leaver, sin publicar). Por tanto, los alimentos concentrados son importantes para el desarrollo de terneros doble propósito.

Salud y mortalidad. El general, la salud y el desempeño de los terneros alimentados por la madre son mejores que aquellos alimentados artificialmente. Los altos niveles séricos de IgG mejoran la inmunidad (Karle et al., 1987) y disminuyen los problemas digestivos (Skvaruk et al., 1984), lo que se traduce en una mayor población de microorganismos en el rumen (Nieto et al., 1985) y en una menor incidencia de parásitos (Ugarte y Preston, 1974).

La tasa de mortalidad también es significativamente inferior en terneros amamantados por la madre (Stobbs, 1975) y la supervivencia está estrechamente relacionada con la disponibilidad de leche para el ternero

Cuadro 8. Composición de la leche (g/kg) consumida por terneros en diferentes sistemas de amamantamiento*.

Sistema de amamantamiento								Fuente
1x1		1x1at		2x2am		2x2		
Grasa	Proteína	Grasa	Proteína	Grasa	Proteína	Grasa	Proteína	
72.0	35.2	55.9	35.3	70.6	34.9	54.0	36.6	
52.9	30.1	46.7	29.3	52.2	30.1	41.2	29.6	Sandoval y Leaver, (1995, 1996) (sin publicar)

a. 1x1 = Un ordeño diario con amamantamiento; 1x1at = Un ordeño en la mañana y amamantamiento sin ordeño en la tarde; 2x2am = Dos ordeños diarios con amamantamiento en el de la mañana; 2x2 = Dos ordeños con amamantamiento.

(ILCA, 1983); no obstante, la leche residual como la única fuente de nutrientes ha demostrado ser insuficiente para el buen desarrollo del ternero. Aunque en los países tropicales es frecuente encontrar terneros mal nutridos, no existen intentos serios para enfrentar este problema en sistemas de doble propósito.

Referencias

- Agyemang, K.; Clifford, D.; y Little, D. A. 1993. An assessment of the biological efficiency in conversion of milk to growth in N'Dama cattle. *Anim. Prod.* 56:165-170.
- Alencar, M. M. de y Mello de Alencar, M. 1989. Relação entre produção de leite da vaca e desempenho do bezerro nas raças Canchim e Nelore. *Rev. Soc. Bras. Zootec.* 18:146-156.
- Allden, W. G. 1981. Energy and protein supplements for grazing livestock. En: Morley, F. H. (ed.). *Grazing animals*. World Animal Science, B1 series. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Países Bajos. p. 289-307.
- Alvarez, F. J. y Preston, T. R. 1976. *Leucaena leucocephala* as protein supplement for dual purpose milk and weaned calf production on sugar cane based diet. *Trop. Anim. Prod.* 1:112-119.
- _____; Saucedo, G.; Arriaga, A.; y Preston, T. R. 1980. Effect on milk production and calf performance of milking crossbred European/Zebu cattle in the absence or presence of the calf and of rearing their calves artificially. *Trop. Anim. Prod.* 5:25-37.
- Alvarez-Flores, F. J. 1991. Estrategias para la intensificación de los sistemas de doble propósito en el trópico. En: *Memoria del Seminario Internacional sobre Lechería Tropical*, Villahermosa, Tabasco, noviembre 20 a 24 de 1990. F.I.R.A. Morelia, México. vol. 2, p. 58-87.
- Anzola, H.; Martínez, G.; Gómez, F.; Hernández, Y.; y Huertas, H. 1990. Strategic supplementation of by pass protein and fat to dual purpose cattle in the Colombian tropics during the dry season. *Liv. Res. Rur. Dev.* 2:1-9.
- Archibald, K. A. 1985. Dairy cattle feeding in the humid or high rainfall tropics. En: Smith, A. J. (ed.). *Milk production in developing countries*. Proceedings of the conference held in Edinburgh from the 2nd to 6th April, 1984. University of Edinburgh, Centre for Tropical Veterinary Medicine, Reino Unido. p. 110-132.
- Baldwin, B. R.; Forsberg, N. E.; y Yu, Y. 1985. Potential for altering energy partitioning in the lactating cow. *J. Dairy Sci.* 68:3394-3402.
- Bar-Peled, U.; Maltz, E.; Bruckental, I.; Folman, Y.; Kali, Y.; Gacitua, H.; Lehrer, A. R.; Knight, C. H.; Robinson, B.; Voet, H.; y Tagari, H. 1995. Relationship between frequent milking or suckling in early lactation and milking production production of high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78:2726-2736.
- Black, D. H. 1985. Dairy calf rearing in the tropics. En: Smith, A. J. (ed.). *Milk production in developing countries*. Centre for Tropical Veterinary Medicine. University of Edinburgh. Reino Unido. p. 304-316.
- Blum, J. W.; Schams, D.; y Bruckmaier, R. 1989. Catecholamines, oxytocin and milk removal in dairy cows. *J. Dairy Res.* 56:167-177.
- Boden, R. F. y Leaver, J. D. 1994. A dual purpose cattle system combining milk and beef production. *Anim. Prod.* 58:463-464A.
- Campling, R. C. y Balch, C. C. 1961. Factors affecting the voluntary feed intake of the cow. 1: Preliminary observations on the effect, on the voluntary intake of hay, of changes in the amount of the reticulo-ruminal contents. *Brit. J. Nut.* 15:523-530.
- Carruthers, T. D. y Hafs, H. D. 1980. Suckling and four times daily milking: Influence on ovulation, estrus and serum luteinizing hormone, glucocorticoids and prolactin in postpartum Holsteins. *J. Anim. Sci.* 50:919-925.
- Chamberlain, A. 1989. *Milk production in the tropics*. Longman Scientific and Technical.
- Chandler, N. J. y Robinson, I. B. 1974. The effects on lactational performance of suckling dairy heifers for the first eight weeks post-partum. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.* 10:355-358.
- Chilliard, Y. 1991. Physiological constraints to milk production: Factors which determine nutrient partitioning, lactation persistency and mobilization of body reserves. En: *Feeding dairy cows in the tropics*. FAO Animal Production and Health Paper no. 86. p. 22-35.

- Combellas, J.; Baker, R. D.; y Hodgson, J. 1979. Concentrate supplementation, and the herbage intake and milk production of heifer grazing *Cenchrus ciliaris*. Grass Forage Sci. 34:303-310.
- _____ y Martínez, N. 1982. Producción de leche y consumo en vacas alimentadas con forraje elefante de corte (*Pennisetum purpureum*) y concentrado. Prod. Anim. Trop. 7:60-64.
- Coppock, C. E. 1985. Energy nutrition and metabolism of the lactating dairy cow. J. Dairy Sci. 68:3403-3410.
- De Alba, J. y Kennedy, B. W. 1985. Milk production in the latin american milking criollo and its crosses with the Jersey. Anim. Prod. 41:143-150.
- Domínguez, C.; Martínez, N.; Risso, J.; López, S.; y Labrador, C. 1995. Effects of supplementing dual purpose cows with multnutritional blocks in the Venezuelan tropics: Preliminary results. En: Anderson, S. y Wadsworth, J. (eds.). Dual purpose cattle research. Proceedings of an International workshop. March 1992. IFS/FMVZ-UADY, México.
- Edwards, M. D. 1985. Effect of age at first calving and milking system on the lactation performance of F1 *B. indicus*/*B. taurus* crossbreds in Sabah. Trop. Anim. Health Prod. 17:201-208.
- El-Sayed, A. B.; Shalash, M. R.; Nawito, M. F.; y El-Nasar, E. S. 1991. The effect of calf contact on milk parameters. Proceedings of World Buffalo Congress. 2:372-382.
- Escobar, F. C.; Jara, L. C.; Galina, C. S.; y Fernández-Baca, S. 1984. Efecto del amamantamiento sobre la actividad reproductiva posparto en vacas cebú criollas y F1 (Cebu x Holstein-Friesian) en el trópico húmedo de México. Veterinaria (Mexico) 15:243-248.
- Everitt, G. C. y Phillips, D. S. 1971. Calf rearing by multiple suckling and the effects of lactation performance of the cow. Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod. 31:22-4Q.
- Fernández, A.; MacLeod, N. A.; y Preston, T. R. 1977. Production coefficients in a dual purpose herd managed for milk and weaned calf production. Prod. Anim. Trop. 2:44-48.
- Flores-Ramos, J. F. 1979. *Leucaena leucocephala* para la producción de leche: Efecto de la suplementación en vacas pastoreando. Prod. Anim. Trop. 4:53-58.
- Forbes, J. M. 1995. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. CAB International, Reino Unido.
- _____ y Barrio, J. P. 1992. Abdominal chemo-and mechanosensitivity in ruminants and its role in the control of food intake. Exp. Physiol. 77:27-50.
- Fulkerson, W. J.; Holley, R. D.; y Findlay, J. K. 1978. Improvement in milk production of first calf heifers by multiple suckling. Aust. J. Agric. Res. 29:351-357.
- García de H., M.; Sánchez, C.; Colmenarez, J.; y Beltrán, E. 1994a. Suplementación a pastoreo de *Leucaena leucocephala* en vacas mestizas de doble propósito en el valle de Aroa, Venezuela. Zootec. Trop. 12:205-224.
- _____; Sánchez, C.; Colmenarez, J.; Monsalve, M. R.; y Sierralta, R. 1994b. Suplementación a corte de *Leucaena leucocephala* sobre la producción de leche en vacas mestizas de doble propósito en el valle de Aroa, Venezuela. Zootec. Trop. 12:241-257.
- Hamann, J. y Stanitzke, U. 1990. Comparison of reaction of the teat tissue to calf suckling, hand milking and machine milking with special emphasis on pathogenesis of bovine mastitis. Brief communications of the 23th. International Dairy Congress. Montreal, October 8-12, 1990. International Dairy Federation, Bruselas, Bélgica. vol. 1, p. 270.
- Hippen, H. E. y Escobar, F. J. 1984. Efecto de diferentes sistemas de crianza sobre el desarrollo del ternero y la productividad de la vaca en el trópico húmedo. Veterinaria (México) 15:83-92.
- Humphreys, L. R. 1982. Perspectives on the adaptation of pasture legumes to tropical farming systems. Outlook Agric. 11:144-150.
- Hunter, R. A. y D'Occhio, M. J. 1995. Partition of nutrients and return to oestrus in lactating *Bos indicus* cows. Aust. J. Agric. Res. 46:749-762.
- ILCA (International Livestock Research Centre). 1983. Economic trade-offs between milk and meat production under various supplementation levels in Botswana. ILCA Research Report no. 10.

- Jayasuriya, M. C. 1993. Use of crop residues and agro-industrial by products in ruminant production systems in developing countries. En: Gill, M.; Owen, E.; Pollot, G. E.; y Lawrence, T. L. (eds.). Animal production in developing countries. British Soc. Anim. Prod. Occasional publication no. 16. p. 47-56.
- Jennings, P. G. y Holmes, W. 1985. Supplementary feeding to dairy cows grazing tropical pasture: A review. Trop. Agric. (Trinidad) 62:262-272.
- Jung, H. G. y Allen, M. S. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. J. Anim. Sci. 73:2774-2790.
- Carle, G.; Szucs, E.; Acs, I.; Szentpeteri, J.; Frenyo, V. L.; y Csajaba, A. 1987. Effect of feeding colostrum by suckling or from buckets on viability and performance of dairy calves housed in groups vs. individually in the case of two genotypes. World Rev. Anim. Prod. 23(1):55-58.
- Khalili, H. 1993. Supplementation of grass hay with molasses in crossbred (*Bos taurus* x *B. indicus*) non lactating cows: Effect of level of molasses supplements on feed intake, digestion, rumen fermentation and rumen digesta pool size. Anim. Feed Sci. Technol. 41:23-38.
- _____; Osuji, P. O.; Umunna N. N.; y Crosse, S. 1994. The effects of forage type (maize-lablab or oat-vetch) and level of supplementation (wheat middlings) on food intake, diet apparent digestibility, purine excretion and milk production of crossbred (*Bos taurus* x *Bos indicus*) cows. Anim. Prod. 58:321-328.
- _____; Varvikko, T.; y Osuji, P. O. 1993. Supplementation of grass hay with molasses in crossbred (*Bos taurus* x *B. indicus*) non lactating cows: Effect of level of timing of molasses supplements on feed intake, digestion, DM degradation and rumen fermentation. Anim. Feed Sci. Technol. 41:39-50.
- Krohn, C. C.; Jonassen, B.; y Munksgaard, L. 1990. Investigations on cow-calf relations. 2: Effect of no suckling or suckling for 5 days on the behavior, milk yield and udder health of cows in different types of housing. Beretning fra statens husdyrbrugsforsog. no. 678.
- León, I. y Vaccaro, R. 1984. Efecto del amamantamiento sobre el crecimiento del becerro, la producción lechera y la fertilidad de las madres. Informe Anual 1983, Instituto de Producción Animal, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. p. 70-71.
- Little, D. A.; Wassink, G. J.; Agyemang, K.; Leperre, P.; Janneh, L.; y Badjie, B. 1994a. Feed supplementation of lactating N'Dama cows under village husbandry. Trop. Agric. (Trinidad) 71:223-228.
- _____; _____; Riley, J. A.; Agyemang, K.; Badjie, B.; y Dwinger, R. H. 1994b. Feed supplementation of village-based N'Dama calves. Trop. Agric. (Trinidad) 71:219-222.
- Makkar, H. P. 1993. Antinutritional factors in foods for livestock. En: Gill, M.; Owen, E.; Pollot, G. E.; y Lawrence, T. L. (eds.). Animal production in developing countries. Brit. Soc. Anim. Prod. Occasional publication no. 16. p. 69-86.
- Margerison, J. K.; Preston, T. R.; y Phillips, C. J. 1994. Restricted suckling of dairy cattle in the humid tropics. Anim. Prod. 58:463A.
- McLachlan, B. P.; Ehrlich, W. K.; Cowan, R. T.; Davidson, T. M.; Silver, B. A.; y Orr, W. N. 1994. Effect of level of concentrate fed once or twice daily on the milk production of cows grazing tropical pasture. Aust. J. Exp. Agric. 34:301-306.
- Metz, J. 1987. Productivity aspects of keeping dairy cow and calf together in the post partum period. Livest. Prod. Sci. 16:385-394.
- Minson, D. J. 1981. Nutritional differences between tropical and temperate pastures. En: Morley, F. H. (ed.). Grazing animals. World Animal Science, B1 series. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Países Bajos. p. 143-157.
- _____. 1990. Forage in ruminant nutrition. Academic Press, E.U.
- _____; Cowan, T.; y Havilah, E. 1993. Northern dairy feedbase 2001. 1: Summer pasture and crops. Trop. Grassl. 27:131-149.
- Mosquera, P. y Lascano, C. 1992. Producción de leche de vacas en pasturas de *Brachiaria decumbens* solo o con acceso controlado a bancos de proteína. Pasturas Tropicales 4(2):10.

- Muinga, R. W.; Thorpe, W.; y Topps, J. H. 1992. Voluntary food intake, live-weight change and lactation performance of crossbred dairy cows given ad libitum *Pennisetum purpureum* (napier grass var. Bana) supplemented with leucaena forage in the lowland semi-humid tropics. *Anim. Prod.* 55:331-337.
- _____; Topps, J. H.; Rooke, J. A.; y Thorpe, W. 1995. The effect of supplementation with *Leucaena leucocephala* and maize bran on voluntary food intake, digestibility, live weight and milk yield of *Bos indicus* x *Bos taurus* dairy cows and rumen fermentation in steers offered *Pennisetum purpureum* ad libitum in the semi-humid tropics. *Anim. Sci.* 60:13-23.
- Nicholson, C. F.; Blake, R. W.; Urbina, C. I.; Lee, D. R.; Fox, D. G.; y Van Soest, P. J. 1994. Economic comparison of nutritional management strategies for Venezuelan dual-purpose cattle systems. *J. Anim. Sci.* 72:1680-1696.
- Nieto, N.; Caballero, A. G.; y Martínez, A. 1985. Estudio comparativo de la fauna protozoaria en terneros con diferentes tipos de crianza. *Rev. Salud Anim.* 7:281-286.
- Ogodja, J. O.; Hounsou, Ve G.; y Dehoux, J. P. 1993. Effet d'une complementation en graines de coton sur la production laitière et la croissance des veaux de vaches allaitantes de race Borgou au Benin. *Bull. Anim. Health Prod. (Africa)* 41:51-56.
- Orskov, E. R. y Dolberg, F. 1985. Recent advances in ruminant nutrition and their relevance to milk production in developing countries. En: Smith, A. J. (ed.). *Milk production in developing countries*. Centre for Tropical Veterinary Medicine, University of Edinburgh, Reino Unido. p. 177-192.
- Osuji, P. O.; Khalili, H.; y Umunna, N. N. 1995. The effects of cottonseed cake with or without molasses on feed utilization, purine excretion, and milk production of Boran (*Bos indicus*) cows fed a mixture of wheat and oat straw. *Trop. Agric. (Trinidad)* 72:63-69.
- Paz, M.; Capriles, M.; Rivero, A.; Rojas, D.; y Chacón, E. 1981. Efecto del nivel de suplementación al inicio de la lactancia sobre el comportamiento productivo y reproductivo de vacas criollas perijaneras pastoreando mezclas de pará y lambedoras. En: Asociación Latinoamericana de Producción Animal (ALPA). *Memorias*. República Dominicana, octubre 8 de 1981. p. 55.
- Phillips, C. J. 1993. *Cattle behavior*. Farming Press Books, Reino Unido.
- Preston, T. R. y Vaccaro, L. 1989. Dual cattle production systems. En: Phillips, C. J. (ed.). *New techniques in cattle production*. Proceedings of the Second International Symposium on New Techniques, held at the University of Wales, Bangor, Reino Unido. September 1988. Butterworths, Reino Unido.
- Robinson, J. J. 1990. Nutrition in the reproduction of farm animals. *Nutr. Res. Rev.* 3:253-276.
- Sahn, M. V.; Preston, T. R.; y Fajersson, P. 1995. Effect of restricted suckling versus artificial rearing on performance and fertility of *Bos taurus* and *Bos indicus* cows and calves in Tanzania. *Livest. Res. Rural Develop.* 6(3).
- Short, R. E.; Bellows, R. A.; Moody, E. L.; y Howland, B. E. 1972. Effects of suckling and mastectomy on bovine postpartum reproduction. *J. Anim. Sci.* 34:70.
- _____; Bellows, R. A.; Staigmiller, R. B.; Berardinelli, J. G.; y Custer, E. E. 1990. Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *J. Anim. Sci.* 68:799-816.
- Simpson, J. R. y Stobbs, T. H. 1981. Nitrogen supply and animal production from pastures. En: Morley, F. H. (ed.). *Grazing animals*. World Animal Science, B1 series. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Países Bajos. p. 261-287.
- Skvaruk, V. S.; Bortnovskii, P. F.; y Voltornistyl, V. M. 1984. Physiological-biochemical basis for rearing cows and calves during the colostral period on dairy complexes. *Sel 'skokhozyaistvennaya-Biologiya* 9:114-116.
- Stobbs, T. H. 1975. Factors limiting the nutritional value of grazed tropical pastures for beef and milk production. *Trop. Grassl.* 9:141-150.
- Stobbs, T. H. y Thompson, P. A. 1975. Milk production from tropical pastures. *World Anim. Rev.* 13:27-31.
- Tegegne, A.; Geleto, A.; Osuji, P. O.; Kassa, T.; y Franceschini, R. 1994a. Influence of supplementation and partial suckling on body weight and on lactation and reproductive performance of primiparous Boran (*Bos indicus*) cows in Ethiopia. *J. Agric. Sci.* 123:267-273.

- _____, Osuji, P. O.; Lahlou-Kassi, A.; y Mukasa-Mugerwa, E. 1994b. Effect of dam nutrition and suckling on lactation in Borana cows and growth in their Borana x Friesian crossbred calves in an early weaning system in Ethiopia. *Anim. Prod.* 58:19-24.
- Thomas, G. W.; Spiker, S. A.; y Mickan, F. J. 1981. Influence of suckling by Friesian cows on milk production and anoestrus. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 21:5-11.
- Tibbo, K.; Wiener, G.; y Fielding, D. 1994. A review of the performance of the Jersey breed of cattle and its crosses in the tropics in relation to the Friesian or Holstein and indigenous breeds. *Anim. Breeding Abst.* 62:719-757.
- Topps, J. H. 1985. Feeding dairy cattle in the seasonal rainfall tropics. En: Smith, A. J. (ed.). *Milk production in developing countries.* Centre for Tropical Veterinary Medicine. University of Edinburgh, Reino Unido. p. 133-151.
- Tsolov, S.; Dimitrov, M.; Koleva, M.; y Burzilov, G. 1989. Effect of suckling a calf on the frequency of mastitis. *Veterinarna Sbirka* 87(9):6-11.
- Ugarte, J. 1976. Amamantamiento restringido. 9: Efecto del amamantamiento restringido después del ordeño de la mañana o de la tarde sobre la producción de leche y desarrollo de los terneros. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 10:247-253.
- _____. 1978. Amamantamiento restringido. 11: Comportamiento de terneros criados en amamantamiento restringido o con vacas nodrizas suplementadas con miel/urea o concentrados desde la primera semana de edad hasta los 150 kg de peso. *Rev. Cub. Cienc. Agric.* 12:19-25.
- _____. 1992. Crianza de terneros. En: Fernández-Baca, S. (ed.). *Avances en la producción de leche y carne en el trópico Americano.* FAO, Santiago, Chile. p. 261-306.
- _____. y Preston, T. R. 1972. Rearing dairy calves by restricted suckling once or twice daily on milk production and calf growth. *Cuban J. Agric. Sci.* 6:173-182.
- _____. y _____. 1973. Amamantamiento restringido. 3: Efecto de disminuir a una vez diaria el amamantamiento, después de la cuarta semana, sobre la producción de leche y el desarrollo del ternero. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 7:151-158.
- _____. y _____. 1975. Restricted suckling. 4: Effects on milk production, reproductive performance and incidence of clinical mastitis throughout the lactation. *Cuban J. Agric. Sci.* 9:15-26.
- Vaccaro, R. 1991. Comportamiento de bovinos para doble propósito en el trópico. En: *Memoria del Seminario Internacional sobre lechería tropical efectuado en Villahermosa, Tabasco, noviembre 20 a 24 de 1990.* F.I.R.A. Morelia, México. 1991. vol. 3, p. 14-35.
- Van Soest, P. J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. O and B Book. Corvallis, E.U.
- Velazco, J. A.; Capriles, M.; y Preston, T. R. 1982. Efecto del amamantamiento restringido sobre la producción de leche y cambio de peso vivo en vacas Holstein y Pardo. *Jornadas Técnicas Instituto de Producción Animal.* Universidad Central de Venezuela, Maracay.
- Vickery, P. J. 1981. Pasture growth under grazing. En: Morley, F. H. (ed.). *Grazing animals.* World Animal Science, B1 series. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Países Bajos. p. 55-77.
- Walsh, J. P. 1974. Milk secretion in machine milked and suckled cows. *Irish J. Agric. Res.* 13:271-275.
- Wettemann, R. P.; Turman, E. J.; Wyatt, R. D.; y Totusek, R. 1978. Influence of suckling intensity on reproductive performance of range cows. *J. Anim. Sci.* 47:342-346.
- Wilde, C. J. y Peaker, M. 1990. Autocrine control in milk secretion. *J. Agric. Sci.* 114:235-238.
- Williams, G. L. 1990. Suckling as a regulator of postpartum rebreeding in cattle: A review. *J. Anim. Sci.* 68:831-852.
- _____. y Payne, W. J. 1975. *La ganadería en regiones tropicales.* Ed. Blume Spain.
- Wise, G. H.; Anderson, G. W.; y Linnerud, A. C. 1984. Relationship of milk intake by suckling and by drinking to reticular groove reactions and ingestion behavior in calves. *J. Dairy Sci.* 67:1983-1992.

Cuantificación de la Interacción Genotipo:Ambiente en Sistemas de Producción con Bovinos de Doble Propósito

*L. Vaccaro, A. Pérez, H. Mejías, R. Khalil y R. Vaccaro**

Resumen

El objetivo de este estudio fue cuantificar la interacción genotipo:ambiente en rebaños de doble propósito, usando el nivel de producción de leche como indicador de la calidad ambiental en cada finca. Los datos provinieron de registros individuales de 4802 partos en 10 fincas que ordeñaron con amamantamiento. Se agruparon los rebaños en tres clases (NL) de acuerdo con el nivel promedio de producción de leche/lactancia (NL1: 761 kg; NL2: 912 kg y NL3: 2563 kg), y los datos se clasificaron de acuerdo con el grupo racial (G) de la vaca: acebuada (C), cruces con grados medios (M) o altos (A) de herencia europea. En el análisis se utilizaron modelos lineales y procedimientos de cuadrados mínimos para las características: producción de leche por lactancia, días de ordeño, intervalo parto-concepción (IPC), peso de becerro a 4 meses, abortos, natimortos, mortalidad de becerros hasta 4 meses y producción de becerro/vaca. A partir de los promedios ajustados, se estimó el valor de la producción anual de leche y becerro para cada grupo en los tres NL, asumiendo relaciones precio de carne a leche de 3:1, 4:1 y 5:1. El cambio en la producción de leche de NL1 a NL3 estuvo acompañado por mejoras en días de ordeño (17%) e IPC (-9%), pero disminuyó el peso de becerro/vaca (-12%) y se aumentaron las pérdidas por natimortos más mortalidad de becerros (279%). Se encontraron interacciones significativas de grupo x NL para la mayoría de las características estudiadas, debido a un cambio de orden de mérito entre los grupos de acuerdo al NL para la producción de leche e IPC, y a cambios en la magnitud de las diferencias entre los grupos en los demás casos. Las interacciones afectaron principalmente a los grupos C y A. Las vacas en el grupo M superaron a las demás en producción anual de leche y becerro, en NL1 y NL2. El grupo C fue muy parecido al grupo M en valor anual de producción en el NL1, sobretodo con relaciones de precio favorables a la producción de becerro. Las vacas en el grupo A se comportaron de manera similar o inferior a las del grupo M para todas las características en NL1 y NL2. En NL3, las vacas en el grupo A produjeron 9% más leche/lactancia que las del grupo M, pero mostraron fuertes desventajas en IPC (24%), mortalidad (34%) y producción de becerro/vaca (-13%), y su ventaja

* Investigadores, Facultades de Agronomía y de Ciencias Veterinarias, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela.

sobre éstas se redujo a 1%-2%, expresada en valor de producción anual de leche y becerro. Se concluye que la respuesta de bovinos de doble propósito a cambios ambientales debe evaluarse con base en un conjunto de características que incluyen la producción de leche, fertilidad y sobrevivencia. Antes de iniciar un programa de mejoramiento se debe realizar una evaluación del potencial de los recursos genéticos existentes. Las vacas en el grupo M fueron poco afectadas por las interacciones genotipo:ambiente, y mostraron aptitud para uso bajo un amplio rango de condiciones, incluyendo las cercanas a las óptimas para sistemas tropicales de pastoreo. Es probable que la reducida ventaja relativa de las vacas del grupo A en valor de producción anual en NL3, haya sido anulada por los costos adicionales asociados con su mayor mortalidad e intervalo entre parto y concepción.

Introducción

La utilización de genotipos animal con potencial de aprovechar eficientemente los recursos que conforman los sistemas de producción es fundamental para garantizar el éxito de éstos. El Proyecto Tropileche propone entre sus objetivos la generación de metodologías que permitan el aprovechamiento eficiente de nuevas especies forrajeras para aumentar la productividad en forma sostenible de sistemas de doble propósito. No obstante, su impacto a nivel de finca podría reducirse drásticamente si las mejoras en las pasturas no van acompañadas por la elección acertada del genotipo animal utilizado.

La coexistencia en rebaños comerciales de animales de grupos raciales no productivos con otros de mayor rendimiento, ilustra la dificultad de tomar decisiones acertadas en relación con el genotipo animal. Este fenómeno, observado con frecuencia en Venezuela, puede también ser común en otros países de la región (Vaccaro et al., 1992). El problema se debe, en parte, a la respuesta diferencial de los grupos genéticos a distintas condiciones ambientales, dando lugar a interacciones entre el grupo racial

y nivel de manejo (Schellenberg y Weniger, 1985; Madalena et al., 1990a), ecosistema (Guerra, 1991; Guerra y De Gracia, 1992) o finca (Vaccaro et al., 1995).

Si bien las interacciones genotipo:ambiente han sido identificadas por los genetistas, no se han hecho esfuerzos para sistematizar la información y explorar sus causas. Por otra parte, los resultados existentes no son concluyentes por diferentes razones. Primero, existe el problema para disponer de datos que describan de manera integral el comportamiento productivo de los animales de doble propósito; el mérito de estos animales depende de un conjunto complejo de características productivas, incluyendo la producción de leche, la fertilidad, la sobrevivencia y el crecimiento, cuya medición conjunta a nivel de campo no es común. Segundo, los estudios de este tipo se deben realizar a nivel poblacional para reducir el riesgo de generar resultados no representativos, debido a la calidad genética específica de la muestra de animales utilizada; así por ejemplo, los resultados de ensayos en estaciones experimentales o estudios en fincas individuales son comúnmente sesgados por esta razón. El tercer problema se refiere a la definición del ambiente en el cual los animales se desempeñan. Se reconoce que el nivel

nutricional es uno de los componentes que más influye sobre la variación en el comportamiento productivo de ellos. De allí, la importancia especial de la calidad y cantidad del forraje disponible, el tema de interés principal del Proyecto Tropiclleche. Sin embargo, el impacto de la pastura sobre el comportamiento productivo de los animales en finca es fácilmente modificado por factores diversos y complejos, algunos de los cuales son conocidos, como el sistema de ordeño o el estado sanitario del rebaño; y otros, como el nivel de gerencia, no son cuantificables o no se han identificado.

El desafío principal consiste en generar información sobre la interacción genotipo:ambiente, de tal modo que sea útil para la toma de decisiones en las diferentes etapas de desarrollo e intensificación del sistema. En el presente trabajo se utilizó una base relativamente completa de datos para comparar el comportamiento de tres grupos raciales, en un rango muy amplio de condiciones ambientales, usando el nivel de producción de leche como indicador simple de la calidad ambiental. Si bien la producción de leche no permite una definición precisa de la calidad de los componentes del sistema, sí es muy sensible a las condiciones ambientales y se espera que los resultados expresados en estos términos sean de fácil interpretación por profesionales de otras áreas.

Materiales y Métodos

Los datos utilizados en este estudio provienen de 10 fincas colaboradoras con el Proyecto de Mejoramiento Genético de Rebaños de Doble Propósito de la Universidad Central de Venezuela, ubicadas por debajo de 350 m.s.n.m. Los rebaños se mantienen en pastoreo, se ordeñan con el becerro y los machos se levantan hasta edades superiores a 12 meses.

Los rebaños se agruparon en tres clases de acuerdo con el promedio de producción de leche por lactancia: nivel 1 (761 kg) con cuatro rebaños, nivel 2 (912 kg) con cuatro rebaños y nivel 3 (2563 kg) con dos rebaños.

Las mediciones ambientales asociadas con cada nivel aparecen en el Cuadro 1.

Las vacas fueron clasificadas en tres grandes grupos raciales: acebuadas (C) y cruces con grados medios (M) o altos (A) de herencia europea. La apariencia externa se utilizó como criterio de clasificación en aproximadamente la mitad de los casos que faltaba información genealógica. El grupo racial C incluyó 13% de animales tipo Cebú blanco con influencia de la raza Brahman, que tuvieron su origen en rebaños de carne; 12% estuvo constituido por animales acebuados con influencia de raza criolla; y el resto (75%) fue de alto mestizaje Cebú, con influencia de las razas Gir y Guzerat, además de Brahman, y un bajo grado de herencia de razas europeas *Bos taurus*. Un pequeño lote del grupo C resultó de un proceso intensivo de selección en rebaños de ordeño. Los cruces M se derivaron de las vacas C, principalmente por cruzamiento con las razas Holstein (44%) y Pardo Suizo (46%). Una pequeña proporción era F1, y el resto era de grados variables de herencia europea alrededor del 50%, productos de cruzamientos variables *inter se*. El grupo A estaba formado, en aproximadamente 75%, por vacas de alto grado de herencia europea, más algunas puras *Bos taurus*. Las proporciones con herencia de las razas Pardo Suiza y Holstein Friesian fueron iguales (43%), con una pequeña participación de otras, incluyendo Simmental y Normanda.

Los datos presentados se refieren a un total de 4802 partos ocurridos en el periodo 1990-1994. Las características estudiadas incluyeron la producción de leche por lactancia, los días en ordeño e intervalo parto-concepción (IPC), el peso del becerro a los 4 meses de edad, el peso de becerro vivo a los 4 meses por vaca, el porcentaje de abortos y natimortos, y la mortalidad entre nacimiento y 4 meses. La producción de leche se estimó con base en muestras semanales o mensuales, tomando en cuenta todos los datos, inclusive las lactancias de cero días y corta duración. Los IPC se estimaron, en el caso de intervalos cerrados a partir de los intervalos entre partos, y en

Cuadro 1. Características de los rebaños estudiados, agrupados en tres clases de acuerdo con el nivel de producción de leche.

	Nivel de producción ^a		
	NL1	NL2	NL3
Clima			
Precipitación (mm/año)	950	950-1100	1100
Sequía (meses/año)	7	4-7	4
Alimentación			
Soca (maíz/sorgo)	Sí ^b	Sí	No
Pasturas			
Area (%) especies cultivadas	Baja	Moderada	Muy alta
Leguminosas nativas	Presentes	Presentes	Presentes
Leguminosas cultivadas	Ausentes	Escasas	Escasas
Suplementación			
Vacas	Ausente	Eventual (S) ^c	Constante (S + C)
Becerras	Ausente	Ausente	Constante (S)
Agua en época seca	Escasa	Suficiente	Suficiente
Ordeños (no./día)	1	1	2
Plan sanitario	Deficiente ^d (curativo)	Regular (preventivo)	Regular (preventivo)

a. Promedio de producción de leche por lactancia: NL1 = 761 kg; NL2 = 912 kg; NL3 = 2563 kg.

b. Una finca en este grupo no utiliza residuos de cosecha y tiene un programa sanitario apropiado.

c. S = Subproductos de agroindustria; C = Alimentos balanceados.

los demás casos a partir de las fechas probables de parto con base en el diagnóstico de preñez. Los pesos de los becerros se corrigieron por sexo y edad a 4 meses. Cuando la cría se murió antes de esa edad, a la vaca madre se le asignó un peso de 0 kg y la variable peso de becerro vivo a 4 meses por vaca se generó para tomar en cuenta, a la vez, peso y sobrevivencia. Los abortos se refieren a aquellos observados por los productores y subestiman las pérdidas reales por esa causa. Como becerros natimortos se clasificaron aquellos que murieron antes o dentro de 48 h después del nacimiento.

El análisis de los datos se realizó utilizando modelos lineales y procedimientos de mínimos cuadrados, mediante el programa de Harvey (1988). Además de los factores de interés principal en el estudio —niveles de producción de leche (NL = 1, 2 y 3), grupos raciales

(G = C, M y A) y su interacción (NL x G)— para mejorar la precisión del estimado de los efectos de éstos, se incluyeron las fuentes de variación siguientes: año de parto (1990-4), época de parto (seca, lluviosa) y número de parto (1...6), finca dentro de NL (4, 4 y 2 para NL1, 2 y 3, respectivamente), sexo de becerro para pesos y mortalidad, y cinco interacciones adicionales. Los detalles de los modelos se incluyen en el Anexo 1.

Con el objeto de combinar los resultados biológicos en un índice económico, se estimó el valor de la producción anual de los tres grupos raciales en los distintos niveles de producción, asumiendo diferentes relaciones de precio de carne y leche (3:1, 4:1 y 5:1). El valor de la producción anual se basó en los promedios ajustados obtenidos del análisis estadístico. Se tomaron en cuenta la tasa estimada de parición anual, la producción de leche por lactancia, el peso y la sobrevivencia de los becerros.

La tasa de parición anual se calculó como $(365/\text{IEP}) \times 100\%$, donde el intervalo entre partos (IEP) se estimó a partir de IPC más las constantes para la duración de la gestación (290, 285 y 280 días, para los grupos C, M y A, respectivamente).

Resultados

Algunas de las características distintivas de los NL estudiados se aprecian en el Cuadro 1. Una diferencia fundamental se refiere a las condiciones climáticas. A pesar de tener precipitaciones totales similares, la zona de NL1 presenta hasta 7 meses de sequía, mientras que la zona NL3 tiene 4 meses. Las explotaciones en NL1 y NL2 incluyeron fincas con sistemas mixtos de producción, en los cuales la ganadería fue un complemento de la producción de cereales, y los animales pastoreaban las socas de maíz y sorgo. En el NL1, los limitantes más importantes para los animales fueron la escasez de agua para consumo en la época seca y las largas distancias que tenían que caminar diariamente. En la medida en que el nivel productivo subió de NL1 a NL3, se observó un incremento en la proporción de las pasturas establecidas con especies

introducidas (*Brachiaria* sp. y *Echinochloa* sp. en NL1 y NL2, y *Cynodon* sp. en NL3), acompañado con el uso rutinario de suplementos alimenticios para vacas y becerros. Los suplementos se basaron, principalmente, en subproductos agroindustriales, incluyendo cebada de cervecera; pulpa de cítricos; cama de pollos y subproductos de maíz, ajonjolí, algodón, arroz y trigo. Las especies de leguminosas eran en su mayoría nativas, y la participación en la dieta de las cultivadas (*Leucaena* y *Gliricidia*) fue mínima. En NL2 y NL3 se implementaron planes sanitarios preventivos, mientras que el NL3 se diferenció de los anteriores por el uso de dos ordeños diarios, en lugar de uno.

El Cuadro 2 muestra los efectos del NL sobre el comportamiento productivo. En la medida en que el NL aumentó, ocurrieron cambios significativos en todas las demás características, con excepción del porcentaje de abortos. Se encontró un aumento consistente en la duración de la lactancia, con 37 días de diferencia entre NL1 y NL3, y una ligera reducción en el número de IPC en el NL3 (de 14 a 16 días). Sin embargo, el cambio más importante ocurrió en la mortalidad. Las pérdidas causadas por natimortos más mortalidad hasta los

Cuadro 2. Efecto del nivel de producción (NL) de leche sobre las características productivas de las vacas (valores promedio ajustados).

Característica	Nivel de producción			Significancia ^a
	NL1	NL2	NL3	
Número de observaciones	1888	2076	838	
Producción de leche				
kg/lactancia	761	912	2563	**
Días	222	223	259	**
IPC	152	154	138	*
Peso de becerro (kg)				
Vivo	73	66	73	**
Por vaca	67	59	59	**
Pérdidas (%)				
Abortos	0.0	0.1	0.2	ns
Al nacer	0.4	0.5	2.3	**
0-4 meses	6.2	9.3	16.7	**

a. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; ns = no significativo.

4 meses en el NL3 fueron tres y dos veces mayores, respectivamente, que en NL1 y NL2. Los cambios en peso de los becerros no fueron consistentes, pero se destacó el peso relativamente bajo de los becerros (66 kg, en promedio) obtenido en el NL2.

En el Cuadro 3 se observan los efectos altamente significativos de grupo racial sobre la producción de leche, IPC, peso de becerro/vaca y mortalidad, pero no sobre el peso del becerro, porcentaje de abortos y natimortos. Las vacas en el grupo A produjeron más leche por lactancia que las demás, aunque sólo superaron a las del grupo M en 4%; no obstante, las primeras fueron iguales o inferiores a las otras vacas en todas las demás características, destacándose el más largo IPC (10% a 14%) y mayor mortalidad de becerros (20% a 90%), en comparación con las vacas en los grupos C y M.

A pesar de la importancia de grupo racial como efecto principal, se encontraron interacciones significativas con el NL que afectan la interpretación de los resultados. La interacción G x NL fue altamente significativa ($P < 0.01$) para la producción de leche y duración de la lactancia, y significativa al nivel 0.05 ó 0.06 para IPC,

peso de becerro/vaca y mortalidad del becerro (Anexo 1).

Para facilitar la interpretación de las interacciones, en el Cuadro 4 se presentan los promedios de los valores ajustados de las características afectadas por la interacción G x NL. Con respecto a la producción de leche, se observa que las vacas en el grupo C produjeron menos que las demás en cada NL; sin embargo, su producción en el NL2 fue 19% mayor que en el NL1; igualmente, se observó una respuesta sobresaliente del pequeño grupo seleccionado de vacas en el grupo C en el NL3. El grupo de vacas M superó a las del grupo C consistentemente en 8% a 28% en todos los NL. El grupo de vacas A fue similar o inferior a las otras vacas en NL1 y NL2, pero cambió de rango en el NL3 donde superó en 9% y 18%, respectivamente, a las vacas de los grupos M y C, con diferencias marcadas en la duración de la lactancia. En el caso de IPC, los tres grupos se comportaron de manera relativamente constante en NL1 y NL2, donde las vacas del grupo C tuvieron intervalos más cortos y las del grupo A más largos que las demás. La interacción se debió, principalmente, al cambio de orden en el NL3, debido al largo intervalo de las vacas en el grupo C (152 días) y el promedio

Cuadro 3. Efecto del grupo racial sobre las características productivas de las vacas (valores promedio ajustados).

Característica	Acebuado	Cruce europeo		Significancia ^a
		Medio	Alto	
Número de observaciones	1116	2574	1112	
Producción de leche				
kg/lactancia	1266	1454	1516	**
Días	223	239	243	*
IPC	144	140	159	**
Peso de becerro (kg)				
Vivo	71	71	70	ns
Por vaca	65	62	58	*
Pérdidas (%)				
Abortos	0.1	0.0	0.1	ns
Al nacer	1.0	0.8	1.3	ns
0-4 meses	7.2	11.4	13.7	**

a. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; ns = no significativo.

Cuadro 4. Interacción grupo racial:nivel de producción de leche de vacas (valores promedio ajustados).

Nivel	Característica	Acebuado	Cruce europeo	
			Medio	Alto
NL1				
Número de observaciones		570	1151	167
	Producción de leche			
	kg/lactancia	658	808	818
	Días	211	231	225
	IPC	139	149	169
	Becerro			
	Peso/vaca (kg)	72	66	64
	Mortalidad (%)	4.2	7.1	7.4
NL2				
Número de observaciones		497	1096	483
	Producción de leche			
	kg/lactancia	782	1003	949
	Días	203	237	229
	IPC	141	155	164
	Becerro			
	Peso/vaca (kg)	60	59	57
	Mortalidad (%)	9.1	9.0	9.7
NL3				
Número de observaciones		49	327	464
	Producción de leche			
	kg/lactancia	2358	2552	2780
	Días	254	248	274
	IPC	152	116	144
	Becerro			
	Peso/vaca (kg)	64	61	53
	Mortalidad (%)	8.1	17.9	24

muy bajo (116 días) de las vacas en el grupo M. En relación con el peso de becerro/vaca y mortalidad, la interacción parece deberse al aumento importante de mortalidad en el NL3, especialmente en las vacas del grupo A, que alcanzaron pérdidas de 24%.

Si se toman los datos en conjunto, se observa que las vacas en el grupo C produjeron menos leche que las demás, pero generalmente presentaron menos IPC y mejores índices de producción de becerro/vaca y mortalidad. Las vacas en el grupo M siempre superaron a las del grupo C en producción de leche por lactancia, y las diferencias a favor de estas últimas en otras características no fueron grandes, salvo en el caso de mortalidad en el NL3. Las vacas en el grupo A no mostraron ventajas sobre las del grupo M en los NL1 y NL2. En NL3, si

bien las vacas del grupo A superaron a las del grupo M en 9% en la producción de leche, fueron 24% inferiores en IPC, 13% inferiores en peso de becerro/vaca y 34% inferiores en sobrevivencia del becerro.

En el Cuadro 5 se presenta el conjunto de datos biológicos que aparecen en el Cuadro 4, en términos de valor anual de la producción de leche y becerro, asumiendo diferentes relaciones entre el precio de la leche y la carne y tomando el grupo C de vacas como base de las comparaciones en cada caso. En todos los casos, las vacas cruzadas superaron a las vacas acebuadas (C), con una diferencia entre 6% y 20%, dependiendo del NL y la relación de precios de carne y leche. Las vacas M generaron mayores valores de producción que las vacas A en NL1 y NL2. En el NL3, el

Cuadro 5. Valor relativo^a de la producción de leche anual y becerro con diferentes relaciones precio de la carne:precio de la leche, según el grupo racial y el nivel de producción de leche.

Nivel	Precio carne: precio leche	Acebuado	Cruce europeo	
			Medio	Alto
NL1	3:1	100	114	110
	4:1	100	112	108
	5:1	100	110	106
NL2	3:1	100	120	113
	4:1	100	119	112
	5:1	100	117	111
NL3	3:1	100	118	120
	4:1	100	118	119
	5:1	100	118	119

a. Expresado en porcentaje tomando en cada caso como base (100%) el valor del grupo acebuado.

comportamiento de las vacas M fue similar al de las vacas A, con una diferencia entre 18% y 20% en comparación con las vacas C. La superioridad de 9% en producción de leche de las vacas A sobre las vacas M (Cuadro 4) fue prácticamente eliminada al tomar en cuenta sus desventajas con respecto a mortalidad de becerros e IPC; por tanto, esta superioridad en valor de producción anual fue solamente entre 1% y 2% (Cuadro 5).

Discusión

Si se consideran los niveles de producción de leche, el rango de ambientes cubierto en este estudio es más amplio que el de trabajos anteriores efectuados en América tropical, en los cuales también se han observado las interacciones genotipo:ambiente en bovinos de doble propósito. El promedio de producción en el NL1 (761 kg/lactancia) fue similar al nivel alcanzado en sistemas tradicionales o extensivos en Colombia, Panamá y Venezuela (Schellenberg y Weniger, 1985; Guerra, 1991; Vaccaro et al., 1995), mientras que el promedio de producción en el NL3 (2563 kg/lactancia) es comparable con los niveles más altos estudiados en Brasil y

Venezuela (Madalena et al., 1990a; Vaccaro et al., 1995), tomando en cuenta que en estos casos se utilizó ordeño sin amamantamiento. Una ventaja del presente trabajo es el número de observaciones (4802) tomadas con base en registros individuales de alta confiabilidad, y el rango de características productivas incluidas en él; aunque hubiera sido deseable disponer de información adicional sobre pesos y pérdidas hasta edades más avanzadas.

El uso del nivel de producción de leche como indicador de la calidad del ambiente permitió diferenciar algunos de los componentes de los sistemas asociados con los diferentes niveles de producción. Un aumento en la proporción de especies introducidas en las pasturas fue uno de los elementos que caracterizó el cambio hacia niveles de mayor productividad (Cuadro 1). Fue notoria la ausencia de leguminosas como componentes de las pasturas en las fincas del estudio, pero el uso de *Leucaena* y *Gliricidia* en forma eventual sugiere que las especies arbóreas podrían ser aprovechadas más ampliamente. El cambio de nivel de producción también fue asociado con suplementación rutinaria de vacas y becerros, disponibilidad suficiente de agua para consumo, planes sanitarios preventivos y la realización de dos ordeños diarios (Cuadro 1). Quizás una de las diferencias más determinantes se refiere al número de ordeños. La introducción de dos ordeños es necesaria para alcanzar producciones similares a las obtenidas en el NL3 o mayores de aproximadamente 1500 kg/lactancia. Esta práctica cambia fundamentalmente las necesidades de inversión del productor, excepto cuando la leche se procesa en la finca para producir derivados o se recoge dos veces diariamente, debido a los costos de la refrigeración.

En relación con el desempeño animal, los resultados resaltaron la importancia crítica de evaluar el comportamiento productivo en términos de un conjunto de características. La tasa de abortos fue la única característica que no mostró variación de acuerdo al grupo racial ni al NL. Esto puede

atribuirse al hecho de que solamente se registraron los abortos observados por los productores y no lleva, necesariamente, a la conclusión que no se justifica la medición precisa de abortos o que no existen diferencias entre grupos raciales y/o NL en relación con los abortos o reabsorciones no observadas. El peso del becerro antes del destete es otra característica cuya medición es cuestionable, ya que las diferencias entre grupos raciales o NL no excedieron al 10% del promedio general. En este Proyecto, los pesos de becerros se tomaron a los 4 meses con el objeto específico de evaluar la habilidad materna de las vacas con fines de selección, y aún es necesario determinar cuál es la mejor metodología para evaluar la producción de carne a la edad de sacrificio en estas poblaciones.

En contraste, se observó una variación importante en la producción de leche por lactancia, IPC, peso de becerro/vaca y mortalidad de becerros debido a grupo racial y/o NL (Cuadros 2 y 3). La omisión de información sobre cualquiera de estas características podría resultar en la toma incorrecta de decisiones sobre la respuesta animal. Esto se ilustra claramente por el comportamiento de las vacas en los grupos A en el NL3, ya que su superioridad en la producción de leche por lactancia fue anulada por problemas de fertilidad y mortalidad (Cuadros 4 y 5). De manera similar, es necesario señalar el aumento en las pérdidas de becerros que ocurrió a medida que la producción de leche aumentó de NL1 a NL3 (Cuadro 3). Debido a que los datos en el NL3 provienen únicamente de dos rebaños, no se puede concluir que un mayor énfasis en producción de leche o intensificación del sistema conduce, necesariamente, a incrementos en mortalidad. Sin embargo, los resultados sugieren claramente la necesidad de evaluar de manera integral la respuesta a los cambios en el sistema.

Al comparar el comportamiento de los tres grupos raciales, se encontraron interacciones significativas de grupo racial con NL para todas las características estudiadas, excepto el peso de becerro,

abortos y natimortos. Desde el punto de vista práctico, las interacciones más importantes son las causadas por los cambios en el orden de superioridad de los grupos raciales de acuerdo con el NL. El ejemplo más ilustrativo es la producción de leche de las vacas del grupo A, que solamente excedió a los otros grupos en el NL3 (Cuadro 4). También se encontró un cambio de orden para IPC, pero esto se debió, probablemente, al reducido número de vacas en el grupo C en el NL3, lo que generó un promedio comparativamente alto (152 días). En los demás casos, la presencia de interacción fue atribuible a cambios en la magnitud de las diferencias entre grupos, sobretodo en peso de becerro/vaca y mortalidad de becerros en el NL3, comparado con NL1 y NL2.

A pesar de la importancia de las interacciones para características individuales, se encontró una mayor consistencia en los resultados a través de los tres NL cuando se combinaron los datos en un sólo índice de mérito total (Cuadro 5). El grupo de vacas M superó a los demás grupos en producción anual en NL1 y NL2 y, prácticamente, fue igual a las vacas del grupo A en el NL3 en cualquier relación simulada de precio de carne y leche. Las vacas en el grupo C tuvieron una producción total muy similar a las del grupo M en NL1, especialmente con la mayor relación de precios de carne y leche, que favoreció su relativamente alta producción de becerro. La respuesta sobresaliente del grupo de vacas C en NL3 debe interpretarse como el resultado de una muestra pequeña de animales altamente seleccionados, pero sugiere que el potencial de este grupo es frecuentemente subestimado. Con las vacas del grupo A, la mayor duda se relaciona con su verdadero potencial para uso en niveles de intensificación similares a NL3. Los resultados con este grupo de 462 observaciones en dos rebaños no son concluyentes, pero indican la probabilidad de que estas vacas presenten mayores problemas de fertilidad y mortalidad de crías que otros grupos raciales en sistemas intensivos de producción en pastoreo.

El conjunto de evidencias de este estudio y otras fuentes indican que en condiciones no intensivas, comparables con aquellas en el NL1, el cruzamiento con razas europeas no es necesariamente justificable. Si bien hay casos que concuerdan con los resultados del presente estudio, en los que estos cruces han sido aparentemente más productivos que animales acebuados (Guerra, 1991; Guerra y De Gracia, 1992), también hay evidencias de fincas individuales donde vacas acebuadas superaron en producción de leche, fertilidad y peso de becerro a vacas de tipo M (Vaccaro et al., 1995). Igualmente, Schellenberg y Weniger (1985), en trabajos realizados en la costa norte de Colombia, concluyeron que el cruzamiento de la población Cebú-criollo con razas europeas no representó beneficios adicionales en condiciones similares a las de NL1 en este estudio. Indudablemente, existen grupos seleccionados de vacas acebuadas, dentro de la población grande e indefinida de animales de este tipo, con capacidad de respuesta sobresaliente a mejoras en el ambiente, tal como se observó en el presente caso y en trabajos realizados en Panamá (Guerra y De Gracia, 1992). Antes de iniciar un programa de cruzamiento se debe realizar una evaluación integral de la respuesta de los animales existentes en los sistemas tradicionales, incluyendo los costos de producción.

La clara superioridad de las vacas en el grupo M sobre las del grupo C en el NL2 (Cuadro 5) parece indicar que el cruzamiento se justifica en aquellos ambientes con capacidad de soportar niveles de producción de leche a partir de 900 kg/lactancia, con amamantamiento. Esto concuerda con los resultados de un análisis anterior de una parte de la base de datos del presente estudio (Vaccaro et al., 1995). También coincide con los resultados obtenidos en Panamá (Guerra, 1991; Guerra y De Gracia, 1992) y en Brasil, donde Madalena et al. (1990) mostraron una ventaja de 165% en ingreso diario durante la vida de vacas F1 en comparación con vacas acebuadas (75% Cebú) en un nivel de manejo bajo, siendo el

promedio de producción de leche de 1731 kg/lactancia en ordeño sin amamantamiento.

En los niveles más altos de producción, los resultados obtenidos en el presente trabajo también apoyan las evidencias disponibles en otras fuentes. Tanto en Brasil (Madalena et al., 1990a,b) como en Venezuela (Holmann et al., 1990) se han observado mayores rendimientos en producción de leche por lactancia con vacas del grupo A que con vacas del grupo M, en ambientes capaces de soportar niveles medios de aproximadamente 3000 kg/lactancia en ordeño sin becerro. Además, en Venezuela las vacas del grupo A eventualmente generaron mayores ingresos brutos por leche, aunque no por carne. No obstante, en ambos estudios las vacas del grupo A generaron menores ingresos netos (20% o más) que las del grupo M debido, principalmente, a la menor vida útil de las primeras y a los mayores costos de producción. En el presente caso, el mayor rendimiento lechero de las vacas en el grupo A fue, prácticamente, compensado en las vacas del grupo M por su mayor fertilidad y sobrevivencia, de acuerdo con los valores relativos de producción anual (Cuadro 5). Por otra parte, es muy probable que en el grupo A los costos de producción hayan sido mayores por las elevadas pérdidas de crías y mayores intervalos entre parto y concepción que involucran gastos adicionales en mano de obra, asistencia veterinaria, medicina y novillas de reemplazo. Por tanto, es posible que la reducida ventaja (1% a 2%) de las vacas en el grupo A sobre las del grupo M, en términos de valor de producción anual de leche y becerros, haya sido anulada.

Conclusiones

Se concluye que la respuesta de bovinos de doble propósito a cambios ambientales debe evaluarse con base en un conjunto de características. Las interacciones grupo racial:ambiente que afectan su

comportamiento en el trópico americano son importantes y resultan en cambios en el orden de mérito de los grupos raciales para características específicas, de acuerdo con las condiciones ambientales. Sin embargo, en este estudio las interacciones afectaron, principalmente, a las vacas en los grupos A y C y, especialmente, la producción de leche, la fertilidad y la sobrevivencia. Las vacas del grupo M parecen ser muy versátiles y estables en su comportamiento comparativo. El conjunto de evidencias disponible sugiere que son aptas para uso en un amplio rango de condiciones, incluyendo las próximas a las óptimas alcanzables a nivel de campo con sistemas sostenibles de pastoreo. No obstante, el potencial de las poblaciones existentes en sistemas tradicionales se debe determinar antes de iniciar un programa de cruzamiento. El empleo de vacas del grupo A con altos niveles de manejo es aún discutible, pero la evidencia biológica y económica disponible sugiere que pueden resultar menos rentables que las vacas del grupo M. El uso más generalizado de animales del grupo M en fincas de doble propósito requiere que se solucionen algunos problemas de su manejo genético. Estrategias para tal fin están siendo desarrolladas en varias partes del trópico americano (Madalena, 1993; Vaccaro y López, 1995). Hasta el presente, se recomienda poner más énfasis en la selección de animales individuales y la implementación de sistemas de apareamiento fáciles de manejar a nivel de campo, que a la definición precisa del grado de herencia europea. Es necesario, también, fortalecer la investigación en esta área para, de esta manera, asegurar la amplia disponibilidad de animales aptos para aprovechar los avances en otros campos, incluyendo el de pasturas tropicales.

Agradecimientos

Se reconoce con gratitud el apoyo del Centro Internacional de Investigaciones

para el Desarrollo (CIID) del Canadá para la realización de la presente investigación. Los autores también expresan su agradecimiento a los productores cooperadores, cuya participación hizo posible la ejecución del trabajo.

Referencias

- Guerra, P. 1991. Producción de leche de animales cruzados en sistemas de doble propósito en Panamá. *Turrialba* 41:96-107.
- _____ y De Gracia, M. 1992. Comportamiento reproductivo de tres grupos raciales en sistemas de doble propósito en Panamá. *Turrialba* 42:23-31.
- Harvey, W. 1988. User's guide for LSMLMW, PC-1 version, Mixed Model Least Squares and Maximum Likelihood Computer Program, Ohio State Univ., Columbus, E.U. 59 p.
- Holmann F., R.; Blake, W.; Hahn, M. V.; Barker, R.; Milligan, R. A.; Oltenacu, P. A.; y Stanton, T. L. 1990. Comparative profitability of purebred and crossbred Holstein herds in Venezuela. *J. Dairy Sci.* 73:2190-2205.
- Madalena, F. 1993. A simple scheme to utilize heterosis in tropical dairy cattle. *World Anim. Rev.* 74-75:17-25.
- _____. 1990. Crossbreeding effects in tropical dairy cattle. *Proc. 4th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Edimburgo, Escocia 310-319.
- _____; Lemos, A. M.; Teodoro, R. L.; Barbosa, R. T.; y Monteiro, J. B. N. 1990a. Dairy production and reproduction in Holstein Friesian and Guzera crosses. *J. Dairy Sci.* 73:1872-1886.
- _____; Teodoro, R. L.; Lemos, A. M.; Monteiro, J. B. N.; y Barbosa, R. T. 1990b. Evaluation of strategies for crossbreeding dairy cattle in Brazil. *J. Dairy Sci.* 73:1887-1901.
- Schellenberg, R. y Weniger, J. H. 1985. Sistemas de producción de leche y carne en fincas ganaderas en la costa atlántica de Colombia. Informe Técnico no. 5, PROMEGAN - Convenio Colombo-Alemania, GTZ, Eschborn, Alemania. 218 p.

Vaccaro, L. y López, D. (eds.). 1995. Taller de trabajo latinoamericano sobre el mejoramiento genético de bovinos de doble propósito: Conclusiones y recomendaciones. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, ALPA: 2, Suplemento 1. 15 p.

_____: Vaccaro, R.; y Verde, O. 1992. Estudios del comportamiento productivo de distintos grupos raciales en sistemas de doble propósito, fuera de la región zuliana. En: González, C. (ed.). Ganadería mestiza de doble propósito. Ediciones Astro Data S.A., Maracaibo, Venezuela. p. 67-88.

_____; _____; _____; Mejías, H.; Ríos, L.; y Romero, E. 1995. Effects of environmental factors, breed group and their interactions on performance of Venezuelan dual purpose cows. Tropical Agric. (Trinidad) 72:1-6.

En Memoria

Este trabajo es dedicado con profundo aprecio y agradecimiento a la memoria del Dr. José M. Toledo quien, como Líder del Programa de Pastos Tropicales del CIAT en la década de los 80, impulsó el acercamiento entre este grupo de genetistas y los expertos en pasturas.

Anexo 1

Análisis de varianza de las principales características. Promedios globales ajustados y significancia de las fuentes de variación incluidas en los modelos.

		Leche/lactancia		IPC	Peso becerro (kg)*		Pérdidas (%)		
		kg	días	días	vivo	por vaca	aborto	al nacer	0-4 meses
Promedio ajustado		1412	235	148	71	62	0.10	1.04	10.7
ET		16.8	2.7	2.6	0.39	0.71	0.08	0.24	0.83
n		4802	4802	3778	3523	3949	39498	3946	3918
F. de V.	G. L.								
Grupo racial (G)	2	**	*	**	ns	**	ns	ns	**
Parto									
Año (A)	4	**	**	**	**	**	ns	ns	**
Epoca (E)	1	**	**	**	*	*	ns	ns	**
Número (NP)	5	**	**	**	**	**	*	ns	*
Nivel (NL)	2	**	**	*	**	**	ns	**	**
Finca/NL1	3	**	*	**	**	**	ns	ns	ns
Finca/NL2	3	**	**	**	**	*	ns	ns	**
Finca/NL3	1	**	**	**	**	**	ns	ns	**
Sexo (S)	1	—	—	—	**	**	ns	ns	0.06
Interacción									
GxA	8	**	**	**	**	ns	ns	ns	ns
GxE	2	ns	ns	ns	**	*	ns	ns	ns
GxNP	10	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
GxNL	4	**	**	*	ns	*	ns	ns	0.06
AxE	4	**	**	ns	**	**	ns	ns	**
NpxNL	10	**	*	**	**	**	*	ns	ns

a. Corregido a 4 meses. Peso de becerro por vaca = producción por vaca en el rebaño, considerando 0 kg para becerros muertos. Peso de becerro vivo es el promedio del peso de becerros que sobrevivieron y fueron pesados a los 4 meses.

* P < 0.05; ** P < 0.01.; ns = no significativo.

Análisis del Efecto del Grupo Genético sobre la Producción de Leche y Comportamiento Reproductivo en una Finca de Doble Propósito

M. C. Amézquita y G. Lema*

Resumen

El trabajo tiene como objetivo mostrar una metodología de análisis de parámetros de producción de una explotación comercial de doble propósito en la cual, a través de los años, además de mejorar el recurso alimenticio, se ha puesto especial énfasis en el mejoramiento genético de los animales. El estudio enfatiza la comparación de varios grupos de distinto nivel genético *Bos taurus* x *Bos indicus* en términos de producción de leche y comportamiento reproductivo bajo las condiciones de manejo de una explotación comercial. Los grupos genéticos son producto de un programa continuado de mejoramiento alterno con inseminación artificial usando toros puros sobresalientes Holstein Rojo y Brahman Rojo. El análisis de datos permitió identificar el genotipo animal ideal para las condiciones ambientales y de manejo de esta explotación. Los resultados muestran que, en términos de producción de leche, los grupos genéticos 3/4 y 5/8 se comportaron estadísticamente igual al grupo 4/4 y superan significativamente a los grupos genéticos 1/2, 3/8 y 1/4. En términos de comportamiento reproductivo y pesos de la cría, los genotipos 3/4 y 5/8 no difieren estadísticamente de los demás. La prueba de heterogeneidad de varianzas en parámetros de producción animal entre grupos genéticos mostró que, a medida que aumenta el porcentaje de sangre europea en el genotipo, disminuyen la longitud de la lactancia y la producción total de leche por lactancia y aumenta la variabilidad entre individuos dentro de grupo. En orden de importancia relativa, las fuentes de variación que afectaron significativamente los parámetros de producción animal fueron: (1) el grupo genético, que explica entre 12.3% y 25.9% de la varianza total; (2) el tipo racial, que explica el 10.3% de la varianza total de la producción promedio diaria en la lactancia; y (3) el año de parto de la vaca, que explica entre 10.8% y 15.3% de la varianza total. Este estudio ilustra claramente la importancia de tomar registros completos de información por animal, índices globales de producción del hato y registros del estado de sanidad animal y de la suplementación animal suministrada. El tipo de datos recolectados para esta explotación comercial, permite otra serie de análisis, tales como estudios de herencia, heredabilidad y heterosis, que no fueron objeto de este estudio.

* Unidad de Biometría, CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

Introducción

El desarrollo de sistemas de producción basados en pasturas tropicales abre, aparentemente, una vía más promisoría hacia la producción económica de leche en los países latinoamericanos, los cuales, en su mayoría, arrastran un pesado déficit nacional de productos lácteos y de carne (Seré y Vaccaro, s.f.). El ganado de doble propósito, producto de cruces de *Bos taurus* x *Bos indicus*, con distintos niveles de avance genético, representa el tipo de animal ideal para estos sistemas de producción.

La sangre *Bos taurus*, proveniente principalmente de ganado Holstein o Pardo Suizo, contribuye con su alto potencial para la producción de leche. Sin embargo, su baja adaptación al estrés ambiental y a las condiciones imperantes de manejo en las zonas tropicales, impide que su explotación sea sostenible. La sangre *Bos indicus*, proveniente de ganado Brahman, Gyr, Guzerá o Sahival contribuye con su alto potencial para la producción de carne y adaptación a condiciones ambientales y de manejo en el trópico. Vaccaro (1984, 1986) menciona que, en general, los cruces Holstein x Cebú han mostrado mejor comportamiento productivo que los cruces Pardo Suizo x Cebú, y que vacas con 50% a 75% de herencia *Bos taurus* son las más apropiadas para el trópico.

La utilización experimental de vacas lecheras en el trópico, si se comparan con su utilización en zonas templadas, muestra dos diferencias bien importantes: (1) En condiciones tropicales, la variabilidad en la producción de leche entre individuos de un mismo grupo genético es muy alto y, en ciertos casos, es superior a la variabilidad entre grupos genéticos. (2) En sistemas de estabulación o semi-estabulación, las fuentes principales de variación sobre la producción de leche y comportamiento reproductivo de las vacas y su importancia relativa, son diferentes a aquellas encontradas en zonas templadas.

La evaluación de la eficiencia productiva de una explotación comercial de doble propósito exige un cuidadoso seguimiento de la información individual de cada vaca, en términos de su producción de leche, comportamiento reproductivo y producción de carne de los terneros. Además, requiere la estimación de índices globales de producción del hato en el tiempo, la definición de criterios de selección y descarte de animales y de una metodología clara de análisis de la información generada por la finca.

Objetivo del Estudio

Uno de los aspectos que se enfatiza en el Consorcio TROPILECHE es la importancia de mejorar el recurso alimenticio como una forma de incrementar la rentabilidad y eficiencia de los sistemas de doble propósito en el trópico. No obstante, se reconoce que el mejoramiento integral de estos sistemas de producción a nivel de finca debe incorporar el componente de genética animal y manejo del hato.

Con base en lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo mostrar una metodología de análisis de parámetros de producción de una explotación comercial de doble propósito en la cual, a través de los años, además de mejorar el recurso alimenticio, se ha puesto especial énfasis en el mejoramiento genético de los animales. Los índices de producción aquí considerados son de interés, tanto para productores como para investigadores. El estudio enfatiza la comparación de varios grupos de distinto nivel genético *Bos taurus* x *Bos indicus*, en términos de producción de leche y comportamiento reproductivo bajo las condiciones de manejo de una explotación comercial. Los grupos genéticos son producto de un programa continuado de mejoramiento alterno con inseminación artificial usando toros puros sobresalientes Holstein Rojo y Brahman Rojo.

Análisis de la Explotación Objeto del Estudio

Descripción general de la explotación

Localización, clima y suelo. La explotación comercial Hacienda La María está localizada en Caloto (Cauca), Colombia, a 1000 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 24 °C, y una precipitación bimodal anual de 1800 mm. Las épocas de lluvias ocurren entre marzo y junio y entre septiembre y diciembre. El área total de la hacienda es de 115 ha de suelos ácidos, con bajo contenido de P y K.

Del total de la hacienda, 96 ha están dedicadas a ganadería de doble propósito. Esta área está dividida en 30 potreros sembrados con pasturas mejoradas de gramínea sola o de gramínea asociada con leguminosas, predominando *Brachiaria decumbens* solo o con leguminosas nativas en las áreas con buen drenaje; *B. decumbens* con *Arachis pintoi* en una pequeña extensión; *B. brizantha* y *B. dictyoneura* en mediana extensión; *B. humidicola* en áreas bajas y con mal drenaje; estrella africana (*Cynodon dactylon*) mejorada en áreas con mayor fertilidad relativa de suelos. Además se tienen 4 ha sembradas con maíz para ensilaje.

Ganado y programa de mejoramiento genético. El hato está conformado, en promedio, por 200 cabezas de ganado, lo cual indica una carga animal aproximada de 2 animales/ha. La distribución de animales es como sigue: 110 vacas mayores de 2 años, 25 novillas entre 1 y 2 años, 65 crías entre machos y hembras menores de 1 año. Todo el ganado se maneja por inseminación artificial utilizando toros puros sobresalientes Brahman Rojo y Holstein Rojo. El programa de mejoramiento genético consiste en cruzamientos alternos entre ambas razas, con el objeto de obtener en el largo plazo un hato entre 33% y 67% de herencia europea. Como producto del esquema de cruzamiento alterno, el hato

está compuesto por seis grupos (4/4, 3/4, 5/8, 1/2, 3/8 y 1/4) de distinto avance genético *Bos taurus*.

Criterios de selección del hato. Las novillas de reemplazo se seleccionan según los criterios: ganancia de peso (mayor de 15 kg/animal por mes); tamaño estructural ("frame score") entre 5.5 y 8.0; fenotipo según las características raciales, pigmentación y funcionalidad; peso de las novillas al servicio mayor de 380 kg, el cual alcanzan, en promedio, a los 2 años de edad.

Los machos se venden a la edad de 1 año o antes, dependiendo de la disponibilidad de forraje en la finca. Los animales para venta o sacrificio se escogen con base en los índices de producción animal y de producción global de la hacienda, dejando en el hato únicamente animales con alto potencial de producción. Adicionalmente, y según los objetivos de producción y fenotipo, se identifican los reproductores con las características genéticas deseadas, de acuerdo con las metas de producción propuestas en el hato.

Suplementación animal y manejo sanitario. El hato en ordeño recibe suplementación diaria con sal mineralizada (aproximadamente 120 g/animal), harina de carne (300 g/animal) y melaza de caña (250 g/animal). Además, en la época seca se suplementa con silo de maíz. Los animales reciben los cuidados sanitarios básicos en este tipo de explotación.

Fuentes de Información para el Análisis

El análisis estadístico de producción de leche se basa en datos semanales de 75 vacas —58 tipo Holstein y 17 tipo Pardo Suizo— pertenecientes a los seis grupos genéticos anteriormente mencionados. De ellas, 25 vacas cuentan con información completa de dos lactancias (Cuadro 1); o sea, que el análisis comprende 100 lactancias completas ocurridas entre 1993 y 1995.

Cuadro 1. Número de vacas lactantes consideradas en el análisis. Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

Grupo genético	Holstein	Pardo Suizo	Total (%)	Vacas con dos lactancias completas
4/4 <i>Bos taurus</i>	10	6	16 (0.21)	3
3/4 <i>Bos taurus</i>	15	1	16 (0.21)	6
5/8 <i>Bos taurus</i>	4	2	6 (0.08)	1
1/2 <i>Bos taurus</i>	18	6	24 (0.32)	12
3/8 <i>Bos taurus</i>	3	—	3 (0.04)	—
1/4 <i>Bos taurus</i>	8	2	10 (0.14)	3
Total	58	17	75 (1.00)	25

Para el análisis de comportamiento reproductivo y de producción de carne de las 75 vacas, se utilizó la información correspondiente a los últimos 8 años (1989-1996) de sus fechas de parto y los pesos al nacer y al primer año de edad de cada cría. Esta información permite el cálculo del intervalo entre partos.

Para el cálculo de los índices de producción de la finca se utilizó, adicionalmente, la información sobre natalidad y mortalidad de terneros en el mismo periodo de tiempo anterior.

Metodología de análisis

Índices de producción. En términos de producción de leche, eficiencia reproductiva y producción de carne, se consideraron los parámetros siguientes:

- Longitud de la lactancia (días).
- Producción total de leche en la lactancia (kg/vaca).
- Promedio de producción de leche por día en la lactancia (kg/vaca por día).
- Tasa de caída en la producción de leche por vaca durante la lactancia.
- Intervalo entre partos (meses).
- Peso de la cría al nacer (kg)

- Peso de la cría al primer año de edad (kg).

Fue de interés calcular la 'tasa de caída' en producción de leche en la lactancia de cada animal, ya que representa un instrumento valioso como criterio de descarte o selección de animales. La forma de estimación de este parámetro se describe más adelante.

Índices de producción de la finca.

Como índices globales de producción de la finca, estimados por semana, mes o año, se consideraron como más importantes los siguientes:

- Producción de leche/vaca por día, promedio del hato.
- Intervalo entre partos, promedio del hato.
- Distribución del hato según su producción de leche por lactancia dentro de los distintos grupos de nivel genético.
- Ganancia de peso de las crías hasta 24 meses de edad.
- Tamaño de las crías hasta 24 meses de edad (cm).
- Fenotipo de las crías a 6, 12, 18 y 24 meses de edad, según la evaluación visual de la forma, el color y las características funcionales.

- Natalidad y mortalidad anuales de terneros.

Para efectos de este estudio sólo se reportan los índices 1, 2, 3 y 7.

Fuentes de variabilidad

Además del nivel de avance genético del animal y de su raza, las principales fuentes de variabilidad sobre parámetros de producción de leche y de comportamiento reproductivo en vacas de doble propósito bajo pastoreo en condiciones tropicales, también están asociadas con los factores de estrés a que están sometidos los animales: la poca protección contra los efectos del clima; las distancias hasta el sitio de ordeño que obliga a los animales a largas caminadas; la presencia de ectoparásitos y endoparásitos; la muerte del ternero lactante por descuido en su manejo; y la baja calidad de la pastura. Los genotipos de mayor potencial productivo son los más afectados por estos factores de estrés.

En una explotación comercial de ganado de doble propósito en constante evolución productiva, el 'año' de evaluación representa una importante fuente de variabilidad. La variación entre años representa, en este caso, no solamente las diferencias climáticas/ambientales, sino también la dinámica que el propietario infiere a su explotación en términos de manejo de sus pasturas y de sus animales.

Sobre los parámetros de producción de carne como peso al nacer, al año, a los 2 años y sucesivamente, existen dos fuentes de variabilidad adicionales: (1) el progenitor, según su nivel de avance genético, raza y fenotipo; y (2) el sexo de la cría. Sin embargo, en la explotación comercial base del presente estudio, la primera fuente de variación no es relevante. Esto se debe a que el semen utilizado proviene de un número escaso de toros puros Brahman Rojo o Holstein Rojo, los cuales son muy similares y de alto potencial de producción de carne o leche, según el caso.

Análisis estadístico

Análisis de curvas de lactancia. Para estimar el mejor ajuste para las curvas de lactancia, se utilizaron tres modelos matemáticos posibles. Los modelos utilizados se ilustran en la Figura 1 y aparecen a continuación:

- Lineal:

$$Y = a - bX$$

- Lineal segmentado:

$$Y = \begin{cases} a_1 + a_2X_1 & \text{si } X \leq X_0 \\ a_3 - bX_1 & \text{si } X > X_0 \end{cases}$$

- Segmentado, con componente no lineal:

$$Y = \begin{cases} a_1 + a_2X_1 & \text{si } X \leq X_0 \\ k + \frac{b_x}{x^2 + cx + d} & \text{si } X > X_0 \end{cases}$$

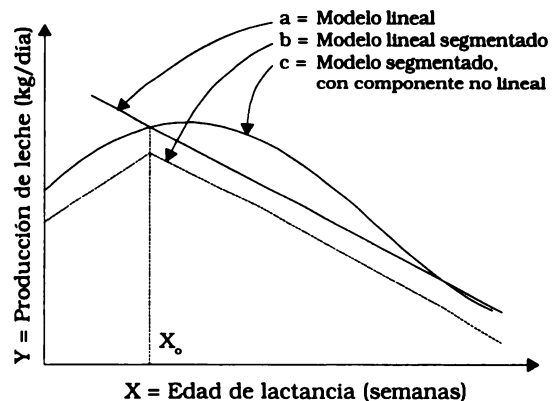


Figura 1. Modelos matemáticos utilizados para probar el ajuste de curvas de lactancia. Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

Los parámetros de producción de leche por vaca y por lactancia generados con base en 100 lactancias completas fueron los siguientes:

- Longitud de la lactancia (en días).
- Producción total de leche (kg/lactancia).
- Producción promedio diaria de leche (kg/días de lactancia).
- Tasa de crecimiento en la producción de leche durante la lactancia (kg/día), representada por la pendiente *b* en los modelos respectivos.

Se calcularon matrices de correlación entre las variables de producción de leche global y por grupo genético, con el fin de detectar posible redundancia entre los parámetros de producción. Igualmente, se calculó la correlación entre ambos tipos de producción de leche en la lactancia de una misma vaca. Esto con el fin de tomar la decisión de considerar la segunda lactancia como una submuestra de la misma vaca o como una observación adicional independiente.

Importancia relativa de fuentes de variación sobre parámetros de producción animal

Con el propósito de cuantificar el efecto y la importancia relativa de las distintas fuentes de variación que inciden en la producción de leche, del intervalo entre partos y del peso de la cría al nacer y al primer año de edad, se realizaron análisis de varianza (ANOVA), considerando fijos todos los efectos. El modelo del ANOVA para peso de la cría al nacer y al primer año de edad, incluye además el sexo y sus interacciones.

Fuente de variación	Gl
Grupo genético	5
Raza (grupo genético)	6
Año de parto	1
Epoca del parto	1
Año x grupo genético	5
Epoca x grupo genético	5
Residuo	76
Total	99

Este modelo incluye dentro del residuo las interacciones que a priori no se esperan significativas además de la variación entre vacas dentro de los distintos grupos

genéticos. En esta forma, los 76 grados de libertad del residuo se descomponen como sigue:

Componentes del residuo	Gl
Raza (grupo genético) x año	6
Raza (grupo genético) x época	6
Año x época	1
Raza (grupo genético) x año x época	6
Error entre individuos:	
Vaca (raza (grupo genético), época [Año])	57
Total	76

La importancia relativa de las distintas fuentes de variación se cuantificó mediante los criterios siguientes:

- el valor de la estadística F_1 que expresa la magnitud en que la varianza asociada con la fuente de variación supera a la varianza del error; y
- la proporción de varianza explicada por la fuente, que es expresada como:

$$\frac{\text{SC fuente}}{\text{SC total}} \times 100$$

Resultados

El ajuste de las 100 curvas de lactancia mostró que 61 de los casos ajustaron según el modelo lineal, con valores de R^2 entre 0.55 y 0.87; nueve casos mostraron buen ajuste utilizando el modelo lineal segmentado, con R^2 entre 0.50 y 0.89; y los 30 casos restantes no mostraron buen ajuste bajo ningún modelo, siendo los valores de R^2 inferiores a 0.35. Las nueve curvas de lactancia que se ajustaron según el modelo lineal segmentado corresponden a grupos genéticos con mayor porcentaje de sangre europea, o sea, a vacas tipo 4/4, 3/4 y 5/8. Es interesante observar que, aún bajo condiciones de manejo de una explotación comercial de doble propósito en el trópico, el esquema de producción por lactancia de vacas con alto porcentaje de sangre *Bos taurus* es similar al esperado en vacas lecheras bajo condiciones de zonas templadas.

En el Cuadro 2 se incluyen las estadísticas descriptivas de los parámetros de producción animal global para el hato. En los Cuadros 3 a 7 se presenta el posible efecto de distintas fuentes de variabilidad sobre parámetros de producción animal. Estas fuentes incluyen el grupo genético, el tipo racial, el año, el sexo de la cría y la mortalidad del ternero lactante. Los datos sugieren que existe efecto del grupo genético en favor de los genotipos 4/4, 3/4 y 5/8 y del tipo racial en favor de las vacas tipo Holstein, en relación con los parámetros de producción. En el Cuadro 5 se resumen los índices de producción de la hacienda durante los últimos 5 años. Se observa una marcada mejoría en la producción a través del tiempo, asociada, como se mencionó antes, con mejorías en las condiciones de manejo del animal y de la pastura. En consecuencia, es de esperar un efecto significativo de año en los resultados del análisis estadístico. En la Figura 2 se presenta una descripción del efecto de época estacional sobre la distribución de concepciones por mes. Existe, aparentemente, una disminución en el número de concepciones entre enero y marzo, y en agosto, correspondientes a la

época seca. Sin embargo, hay que demostrar la existencia o no de significancia estadística de los distintos efectos.

Análisis de parámetros de producción de leche

En el Cuadro 8 se muestra la falta de correlación en la producción de leche entre dos lactancias de una misma vaca. En el único parámetro en el cual se observó una correlación significativa, aunque de baja magnitud, fue en el promedio de producción de leche por vaca por día de lactancia ($r = 0.50$ para el hato en global y de $r = 0.87$ en el grupo genético 3/4 *Bos taurus*) (Figura 3). Este resultado indica que la producción de leche en la lactancia, aún de una misma vaca, puede ser afectada por factores ambientales y de manejo. Para efectos del análisis estadístico, la no existencia de correlación implica que cada lactancia se puede considerar como una observación independiente.

Entre los parámetros de producción de leche considerados se encontró cierto grado de correlación (Cuadro 9). Esto es especialmente marcado entre la producción

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas globales de los parámetros evaluados en 75 vacas de la Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

Parámetro	Número	Media	Minima	Máxima	C.V.	C.V. corregido ^a
Longitud de lactancia (días)	100	271	28	420	0.31	0.29
Producción total de leche (kg/lactancia por vaca)	100	1793	81	3466	0.41	0.35
Producción diaria de leche (kg/vaca)	100	6.4	3.0	10.0	0.22	0.18
Tasa de caída (kg/día)	70	-1.1	-5.0	-0.4	0.64	0.66
Intervalo entre partos (meses)	186	15.9	9.8	26.4	0.22	0.22
Peso de la cría al nacer (kg)						
Machos	118	38	24	55	0.17	0.15 ^b
Hembras	119	36	24	47	0.16	
Peso de la cría a 1 año de edad						
Machos	28	223	140	280	0.19	0.21 ^b
Hembras	47	213	130	365	0.25	

a. Coeficiente de variación corregido por las fuentes de variación = $\sqrt{\text{CM error}}/\text{media}$.

b. Coeficientes de las variables: peso al nacer y al primer año, corregidos por sus fuentes de variación.

Cuadro 3. Fuente de variabilidad: grupo genético en vacunos. Hacienda La Maria, Caloto (Cauca), Colombia.

Parámetro	Grupo genético												Prueba Barlett
	4/4			5/8			1/2			1/4			
	Prom.	D.E.	C.V. (%)	Prom.	D.E.	C.V. (%)	Prom.	D.E.	C.V. (%)	Prom.	D.E.	C.V. (%)	
Longitud de lactancia	326	62	0.19	297	64	0.22	268	77	0.22	187	86	0.46	0.001
Producción total de leche	2324	531	0.23	2121	445	0.21	1740	662	0.38	945	517	0.55	0.09
Producción de leche/día	7.2	1.3	0.18	7.2	0.6	0.08	6.4	1.4	0.21	4.7	1.3	0.27	0.38
Caída en producción (kg/semana)	-0.9	0.5	0.57	-1.0	0.3	0.36	-1.2	0.6	0.51	-0.9	0.3	0.34	0.14
Intervalo entre partos	16.4	3.5	0.22	16.4	3.6	0.22	15	3.1	0.20	13.2	3.6	0.28	0.83
Peso de la cría													
Al nacer	39	5.9	0.15	36	6.1	0.17	34	5.8	0.17	38	5.1	0.13	0.81
Al año	221	50.6	0.23	213	46.7	0.22	216	62.7	0.29	207	68.1	0.38	0.31

Cuadro 4. Fuente de variabilidad: tipo racial en vacunos. Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

Parámetro	Tipo Holstein			Tipo Pardo Suizo		
	Prom.	D.E.	C.V. (%)	Prom.	D.E.	C.V. (%)
Longitud de lactancia	274	11.6	0.30	258	14.3	0.39
Producción total de leche	1823	735.5	0.40	1697	733.2	0.44
Producción diaria de leche	6.5	1.4	0.22	6.2	1.5	0.24
Caída en producción (kg/semana)	-1.1	0.73	0.66	-1.0	0.5	0.49
Intervalo entre partos	15.8	3.5	0.22	16	3.5	0.22
Peso de la cría						
Al nacer	38	6.3	0.17	36	5.8	0.16
Al año	209	48	0.23	228	50.1	0.22

Cuadro 5. Fuente de variabilidad: año. Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

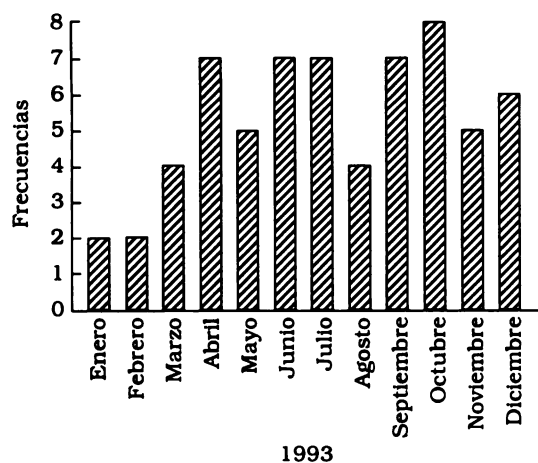
Índices anuales de producción (promedio por hato)	Años de observación				
	1992	1993	1994	1995	1996
Producción de leche (kg/vaca por día)	5.8	6.7	7	7.9	7.9
Crecimiento (%) sobre 1992	0	15.5	20.7	36.2	36.2
Intervalo entre partos	17.5	15.3	15.6	14.7	14.3
Producción de carne					
Natalidad (%)	88	80	89	75	53
Número y terneros muertos (%)	5(5.7)	8 (10)	4 (4.5)	6 (8)	2(3.8)
Peso al nacer (kg)	37.5	36.1	37.9	37.7	38.1
Peso al primer año (kg)	193	183	222	209	—

Cuadro 6. Fuente de variabilidad: sexo de la cría. Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

Parámetro	Hembras			Machos		
	Prom.	D.E.	C.V. (%)	Prom.	D.E.	C.V. (%)
Peso de la cría al nacer (kg)	36	5.9	0.16	38	6.4	0.17
Peso de la cría al primer año (kg)	213	53.3	0.25	222	42.6	0.19

Cuadro 7. Fuente de variabilidad: manejo animal. Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

Parámetro	Sin muerte del ternero			Con muerte del ternero		
	Prom.	D.E.	C.V. (%)	Prom.	D.E.	C.V. (%)
Longitud de lactancia	345	11.7	0.30	114	2.9	0.18
Producción total de leche	1824	721.7	0.40	774	196.1	0.25
Producción diaria de leche	6.4	1.5	0.23	6.7	0.9	0.14



Fuente de variabilidad = Epoca estacional

Figura 2. Distribución de concepciones por mes en la Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

total de leche en la lactancia (kg/vaca) y la producción promedio diaria en la lactancia (kg/vaca por día), que presentaron correlaciones altamente significativas a través de todos los grupos genéticos. Esto indica que para el análisis estadístico se puede prescindir de una de las dos variables. No obstante, debido a la importancia práctica para el productor, en este estudio se analizaron todas las variables.

La prueba Barlett de heterogeneidad de varianzas entre grupos genéticos (Cuadro 3) indica que, en términos de longitud de la lactancia y producción total de leche por

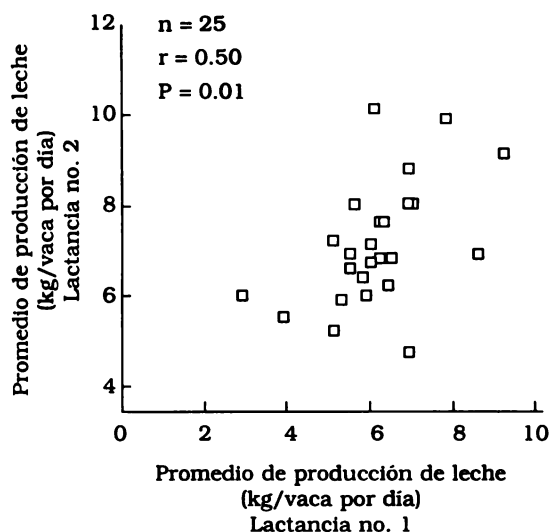


Figura 3. Correlación entre el promedio de producción de leche por día entre lactancias de una misma vaca. Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

lactancia, la variabilidad entre individuos aumenta significativamente a medida que disminuye el porcentaje de sangre europea en el cruce. Esta tendencia, sin embargo, no fue significativa para los parámetros: promedio de producción diaria de leche por lactancia, intervalo entre partos, y peso de las crías al nacer y al primer año de edad.

Las variables que mostraron heterogeneidad de varianza entre grupos genéticos se transformaron con la función logarítmica. Como resultado de los ANOVAS sobre los parámetros de producción de leche (Cuadro 10), se observa que el grupo

Cuadro 8. Correlación en parámetros de producción de leche entre dos lactancias de una misma vaca. Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

Parámetro	Global en el hato (n = 25 vacas)	Genotipo 3/4 (n = 6 vacas)	Genotipo 1/2 (n = 12 vacas)
Duración de lactancia (días)	0.16 ns	0.2 ns	0.06 ns
Producción total de leche/lactancia (kg)	0.20 ns	-0.25 ns	-0.14 ns
Producción promedio en la lactancia (kg/día)	0.50*	0.87*	0.05 ns

* $P < 0.05$; ns = no significativo.

Cuadro 9. Correlación entre variables de producción animal. Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

Parámetros correlacionados	Grupo genético					
	Hato (n = 100)	4/4 (n = 19)	3/4 (n = 22)	5/8 (n = 7)	1/2 (n = 7)	1/4 (n = 13)
Producción total de leche (kg/vaca por lactancia) vs. longitud de lactancia (días)	0.60** (0.0001) ^a	0.42 ns	0.42 ns	0.75 (0.05)	0.53** (0.0009)	0.6* (0.03)
Producción total de leche (kg/vaca) vs. producción promedio (kg/vaca por día)	0.88* (0.0001)	0.87** (0.0001)	0.85** (0.0001)	0.88** (0.009)	0.90** (0.0001)	0.83** (0.0005)
Intervalo entre partos vs. peso al nacer	0.40** (0.0029)	0.39 ns	0.22 ns	0.54 ns	0.47 ns	0.14 ns

a. Probabilidad de significancia.
ns = no significativo.

Cuadro 10. Importancia relativa de fuentes de variación en parámetros de producción de leche. Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

Fuente de variación	Gl ^a	Longitud de la lactancia (días)		Producción de leche (kg/vaca por día)		Tasa de caída F (prob.)
		F (prob.)	Varianza explicada (%)	F (prob.)	Varianza explicada (%)	
Grupo genético	5	3.6**	23.7	5.0**	25.9	ns
Raza (grupo genético)	6	ns	—	2.7*	10.3	ns
Año de parto	2	ns	—	4.2*	10.8	ns
Epoca de parto	1	ns	—	ns	—	ns
Año x grupo genético	10	ns	—	ns	—	ns
Epoca x grupo genético	5	ns	—	ns	—	ns
Residuo			76.3		53.0	
Total	99		100		100.0	

a. Grados de libertad.

genético es la principal fuente de variación en todas las variables de respuesta. Este factor explica entre el 23.7% y el 25.9 % de la varianza total del parámetro. El efecto de tipo racial (Holstein vs. Pardo Suizo) se detectó significativo en términos de la producción promedio de leche/vaca por día de lactancia y no en los demás parámetros. Igualmente, y como era de esperar, el efecto del año resultó altamente significativo (Cuadros 5 y 10). No se detectó efecto significativo de la época seca sobre la

producción de leche. Esto implica que el suministro de silo de maíz a las vacas lactantes en esta época atenúa el efecto del estrés climático y de nutrición. La falta de significancia estadística de las interacciones año x grupo genético y época x grupo genético indica que, bajo las condiciones de manejo de la hacienda, los animales de distinta raza o nivel de avance genético no muestran una respuesta diferencial a condiciones de estrés climático o de manejo.

Los resultados del análisis del efecto de grupo genético sobre parámetros de producción de leche (Cuadro 11) indican que, en general, el nivel de producción de leche por lactancia, la producción promedio por día y la longitud de la lactancia disminuyen significativamente a medida que decrece el porcentaje de sangre europea. No obstante, el nivel de producción de las vacas 3/4 y 5/8 *Bos taurus* no difiere significativamente de aquél de las vacas puras (4/4). Estos dos grupos superan la producción de leche del genotipo 1/2 y éste, a su vez, supera en algunos parámetros a los genotipos 3/8 y 1/4 *Bos taurus*.

Análisis de intervalo entre partos y producción de carne

Aunque los valores promedio de los seis grupos genéticos sugieren que el intervalo entre partos se hace más estrecho a medida que aumenta el porcentaje de sangre Brahman en los cruces (Cuadro 12), el ANOVA no detectó significancia estadística de grupo genético ni de otra fuente de variabilidad considerada en este estudio (Cuadro 12). El grupo genético y el año de parto fueron fuentes de variabilidad significativas en relación con el peso de las crías al nacer. Sin embargo, estas fuentes de variabilidad

Cuadro 11. Importancia relativa de fuentes de variación sobre intervalo entre partos (IEP) y producción de carne. Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

Fuente de variación	IEP		Peso al nacer (kg)		Peso al primer año (kg) (F)
	Gl ^a	(F)	F	Varianza explicada (%)	
Grupo genético	5	ns	2.8*	12.3	ns
Raza (grupo genético)	4	ns	ns	ns	ns
Año de parto	10	ns	3.6**	15.3	ns
Año x grupo genético	27	ns	ns	—	ns
Sexo de la cría	1	ns	ns	—	ns
Sexo x grupo genético	4	ns	ns	—	ns
Residuo	134			72.4	
Total	185			100.0	

a. Grados de libertad.

Cuadro 12. Comparación estadística entre grupos genéticos del hato vacuno. Hacienda La María, Caloto (Cauca), Colombia.

Parámetro	Grupo genético					
	4/4	3/4	5/8	1/2	3/8	1/4
Longitud de lactancia	326 a*	280 a	297 a	267 ab	198 bc	188 c
Producción diaria de leche	7.2 a	6.8 a	7.2 a	6.4 a	5.5 bc	4.7 c
Intervalo entre partos	16.4 a	16.1 a	16.7 a	15 a	14 a	13.2 a
Peso de la cría						
Al nacer	38 a	39 a	36 a	34 b	36 a	38 a
Al primer año	221 a	219 a	213 a	216 a	160 a	207 a

a. Promedios con letras iguales no difieren en forma significativa ($P < 0.05$), según la prueba de Tukey.

no se detectaron como significativas en el análisis de peso de la cría al primer año de edad.

Conclusiones

La metodología, aquí presentada, de análisis de la información de la explotación comercial objeto de este estudio, mostró ser sencilla, clara, y permite tomar decisiones prácticas por parte del productor y del investigador.

El análisis permitió identificar el genotipo animal ideal para las condiciones ambientales y de manejo de esta explotación. Los resultados muestran que, en términos de producción de leche, los grupos genéticos 3/4 y 5/8 se comportaron estadísticamente igual al grupo 4/4 y superan significativamente a los grupos genéticos 1/2, 3/8 y 1/4. En términos de comportamiento reproductivo y pesos de la cría, estos genotipos 3/4 y 5/8 no difieren estadísticamente de los demás.

La prueba de heterogeneidad de varianzas en parámetros de producción animal entre grupos genéticos mostró que, a medida que aumenta el porcentaje de sangre europea en el genotipo, disminuyen la longitud de la lactancia y la producción total de leche por lactancia y aumenta la variabilidad entre individuos dentro de grupo.

En orden de importancia relativa, las fuentes de variación que afectaron significativamente los parámetros de producción animal fueron: (1) el grupo genético, que explica entre 12.3% y 25.9% de la varianza total; (2) el tipo racial, que explica el 10.3% de la varianza total de la producción promedio diaria en la lactancia;

y (3) el año de parto de la vaca, que explica entre 10.8% y 15.3% de la varianza total.

Este estudio ilustra claramente la importancia de tomar registros completos de información por animal, índices globales de producción del hato y registros del estado de sanidad animal y de la suplementación animal suministrada.

El tipo de datos recolectados para esta explotación comercial permite otra serie de análisis, tales como estudios de herencia, heredabilidad y heterosis, que no fueron objeto de este estudio.

Referencias

- Madelena, F. E.; Martínez, M. L.; y Freitas, A. F. 1979. Lactation curves of Holstein Friesian and Holstein Friesian x Gyr cows. *Animal Prod.* 29:101-107.
- Seré, C. y Vaccaro, L. s.f. Milk production from dual-purpose systems in tropical Latin America. *Proceedings. International Conference on Milk Production in Developing Countries.* Edinburgh University, Escocia. (En impresión.)
- Vaccaro, L. 1984. El comportamiento de la raza Holstein Friesian comparada con la Pardo Suiza en cruzamiento con razas nativas en el trópico: Una revisión de la literatura. *Producción Animal Tropical* 9:93-101.
- _____. 1986. Mediciones de la respuesta animal en ensayos de pastoreo: Vacas lecheras y de doble propósito. En: Lascano, C. y Pizarro, E. (eds.). *Evaluación de pasturas con animales: Alternativas metodológicas.* Memorias de una reunión de trabajo realizada en Perú, octubre 1 a 5 de 1984. Red Internacional de Evaluación de Pasturas Tropicales (RIEPT). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 127-143.

**APLICACIÓN DE MODELOS PARA
OPTIMIZAR EL USO DE RECURSOS
EN FINCAS CON GANADO
DE DOBLE PROPÓSITO**

Modelación de Sistemas de Producción de Leche: Descripción de sus Componentes e Interacciones para el Diseño de Modelos de Simulación

C. U. León-Velarde*, B. Arce** y R. Quiroz***

Resumen

En el pasado se han construido diversos modelos de simulación con objetivos específicos para analizar los complejos componentes de los sistemas de producción de leche; sin embargo, la tendencia actual es considerar en forma total los recursos del sistema, tales como inversión, trabajo, alimentos, estructura y dinámica de hato, estados fisiológicos de los animales (preñez, lactancia), genética y sanidad, entre otros. La complejidad de los sistemas varía y, en muchos casos, son difíciles de modelar y de simular, especialmente cuando las relaciones causa-efecto no son conocidas. El presente trabajo plantea, con base en diferentes modelos, los componentes principales a considerar en la construcción de subrutinas que simulen sistemas de producción intensivos o de doble propósito bajo pastoreo, incluyendo el componente de cultivos. Las ecuaciones matemáticas que explican la relación entre y dentro de los componentes considerados según el objetivo propuesto varían y pueden escribirse en diferentes lenguajes de programación (Basic, Fortran, Quick Basic, Foxpro y hojas de cálculo, entre otros). Asimismo, se plantean modelos de unidad animal y de hato. Los primeros permiten la simulación diaria de cada animal en un hato, considerando el ciclo productivo de vida animal con base en los requerimientos nutricionales para crecimiento, reproducción, producción de leche (genética) y sanidad (mastitis), bajo situaciones particulares de decisiones de manejo, tales como edad al primer servicio, días al apareamiento, número de servicios, descarte por selección según criterios de edad y reproducción. El modelo de hato considera grupos de animales por categoría manejados en forma secuencial incluyendo los procesos antes mencionados. Los modelos pueden ser validados, dentro de un rango mínimo de precisión, utilizando parámetros observados en fincas comerciales y/o con información de producción, reproducción, genética y economía que aparece en la literatura. En general,

* Ph.D., Genética/Sistemas, especialista en análisis de sistemas agropecuarios, Líder del BMS-Puno en el Consorcio para el Desarrollo Sostenido de la Ecorregión Andina (CONDESAN)/CIP-CIID, Apartado 1558, Lima, Perú.

** M.Sc., Zootecnista, especialista en sistemas de producción animal, CONDESAN/CIP, Carchi, Ecuador.

*** Ph.D., Nutrición animal, especialista en sistemas de uso de la tierra, CIF-CONDESAN, Lima, Perú.

los modelos que se construyen pueden ser utilizados en diferentes situaciones de manejo para el cálculo de rentabilidad, así como en programas de enseñanza, extensión e investigación, en los que se analizan diferentes escenarios antes de tomar una decisión de manejo del sistema lechero.

Introducción

Un sistema de producción de leche es un complejo de diferentes factores biológicos y socioeconómicos. Sin embargo, estos factores de producción y sus interrelaciones se estudian, usualmente, en forma separada. Con el objeto de mejorar o analizar el sistema lechero, los complicados problemas de investigación se dividen en aspectos menos complejos y más manejables dentro de cada uno de los componentes que lo integran. Esta reducción del sistema en sus partes ignora, frecuentemente, las interacciones, con lo cual se puede perder información esencial de todo el comportamiento del sistema (Congleton, 1984). El uso de la modelación matemática como técnica permite separar y describir los componentes, considerando la identificación misma del sistema y constituye la base del enfoque para análisis de sistemas agropecuarios. Por tanto, un sistema lechero generalmente se puede representar por modelos matemáticos, los cuales se ajustan a la realidad.

Existen diversos modelos matemáticos publicados que describen con gran detalle las características biológicas dentro de un hato u otros componentes del sistema, como los forrajes (Rotz et al., 1989). Algunos modelos enfatizan en nutrición (Bywater y Dent, 1976), mientras que otros en reproducción (Oltenacu et al., 1980; Boneschanscher et al., 1982), sanidad o componentes genéticos (Groen, 1988), mientras que otros hacen énfasis sobre estrategias de manejo (Congleton, 1984;

Dijkhuizen et al., 1986; Sorensen, 1989) o decisiones de reemplazo en relación con producción y precios (Gartner, 1981; Van Arendock, 1985). Todos estos aspectos tienen un papel importante en la detección de cómo un sistema lechero es biológicamente sensible a los diferentes aspectos de la producción. Los modelos tienen algunas restricciones y dificultades para su aplicación a nivel de finca, debido a que son diseñados para examinar las implicaciones de los cambios de manejo en fincas promedio o en condiciones propias e ideales de un lugar en particular. No obstante, en una finca lechera existen diversas situaciones, estrategias y decisiones de manejo que influyen en el rango de oportunidades futuras orientadas a obtener un adecuado beneficio (León-Velarde, 1991).

Consecuentemente, un modelo de sistema lechero, en el concepto del análisis de sistemas, debería considerar todas las entradas ("inputs"), el ciclo de vida biológico y productivo en el hato, y las salidas ("output") como un todo para obtener una eficiencia real y determinar el nivel de producción y rentabilidad que tiene en el mercado (Spedding, 1988). Blackie y Dent (1974) y León-Velarde (1991) sugieren que la construcción de modelos estructurales deben describir la estructura lógica dentro y entre los componentes con la unión de los parámetros básicos del sistema real; este tipo de modelo debe permitir la incorporación de diferentes estrategias de manejo para estimar, por medio de simulación, los cambios en las salidas del sistema permitiendo el análisis de un

sistema de finca particular (León-Velarde, 1991). Asimismo, es posible considerar métodos de optimización para el análisis de sistemas lecheros (Mayer et al., 1996).

El presente documento tiene por objetivo plantear las consideraciones básicas que se deben tener en cuenta en la modelación y construcción de subrutinas para simular sistemas de producción animal, con énfasis en sistemas de producción de leche; asimismo, en forma breve y descriptiva, se presenta el uso de algunos modelos.

Consideraciones Generales

En forma general, la modelación y la simulación se deben considerar como una técnica que permite visualizar escenarios diferentes de un sistema con un rango de precisión cercano al valor real. Un modelo puede ser programado en forma determinística o estocástica y, en ambos casos, debe permitir el análisis y la toma de decisiones sobre el comportamiento presente y futuro del sistema con base en información obtenida en sistemas reales. La programación se puede hacer en cualquier lenguaje (Fortran, Basic, Foxpro y hojas de cálculo, entre otros).

Se entiende por sistema a la integración e interrelación de componentes físicos con una función y un objetivo específicos. La modelación incluye sólo la representación en forma esquemática de un sistema real con componentes, límites y procesos establecidos. El proceso de simulación construye y organiza, en forma dinámica y cuantitativa, el conocimiento planteado en el modelo que incluye la programación en forma matemática de los diferentes componentes, procesos y sus interrelaciones. Por tanto, si las relaciones causa-efecto de un proceso no son conocidas, será difícil incorporarlo en el modelo.

El planteamiento de consideraciones básicas y simples que ocurren en un sistema lechero podría tomarse como irrelevante; sin embargo, para construir un modelo complejo se debe empezar desde lo más básico y elemental para encontrar los nexos entre los componentes y la importancia que tienen en todo el sistema y, de esta forma, determinar las ecuaciones que se usarán en el proceso de programación y simulación.

La programación se puede realizar mediante un conjunto de ecuaciones en forma integrada, siendo posible incorporar variables estocásticas, lo que permite la aleatorización del modelo (León-Velarde, 1991). O pueden ser determinísticos, en los cuales la programación es lineal, como en el caso del modelo de doble propósito (Nicholson et al., 1994).

En la Figura 1 se describe el ciclo de vida natural y productivo, que es el paso más simple, mediante la cuantificación de los eventos biológicos. El ciclo de vida productivo es variable y depende del tipo de sistema; sin embargo, al observar la Figura 1 se encuentra que se requiere información de consumo, ganancia de peso, curva de crecimiento, lactancia e información que debe ser cuantificada. De esta manera, para iniciar un modelo de simulación es necesario conocer las principales relaciones cuantitativas de la relación causa-efecto que afectan positiva o negativamente la producción.

En muchos casos, este conocimiento es débil o no existe, lo que influye en la construcción del modelo o en la utilización de los existentes. En el Anexo 1 se incluye un listado de variables útiles para la construcción de modelos de simulación de hatos de ganado doble propósito.

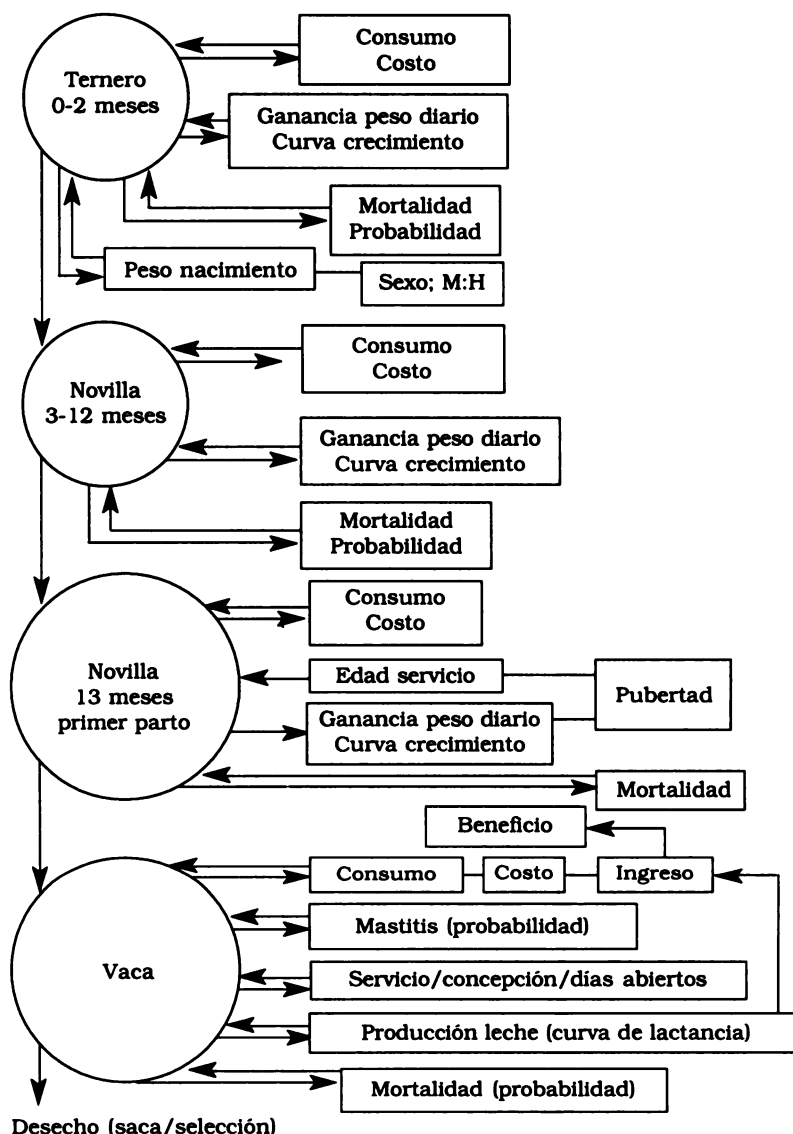


Figura 1. Representación esquemática del ciclo de vida productivo del componente animal.

Componentes y Elementos de los Sistemas de Producción Animal

La producción animal, a pesar de que es una actividad compleja, se representa normalmente por un modelo simple y sencillo que consta únicamente de dos

componentes físicos: el pasto y el hato (animal), incluyendo sus interacciones (Figura 2). Sin embargo, en la mayoría de los casos un sistema de producción de leche tiende a ser modelado con cuatro componentes no físicos, los cuales, a su vez, constituyen la base para plantear las ecuaciones de los algoritmos que se desarrollan durante el proceso de

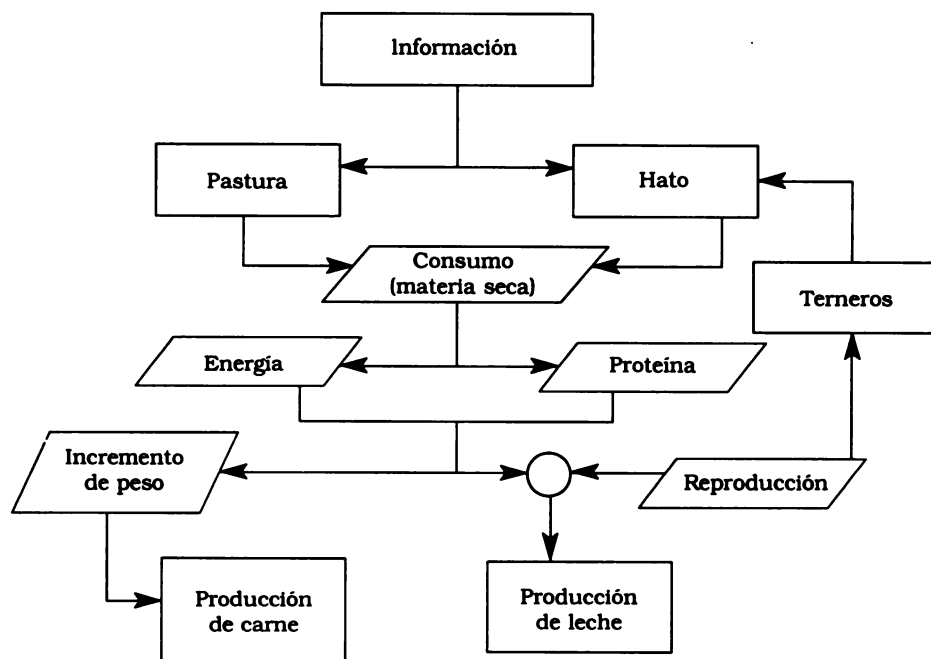


Figura 2. Representación esquemática de los componentes y elementos de un sistema de producción animal.

simulación. En este documento se utiliza la denominación "componentes" para aquellos que no son físicos, pero su importancia y uso común entre los técnicos los hacen relevantes.

Los componentes no físicos son:

(1) alimentación (nutrición), que se refiere realmente al componente pasto formado por los forrajes con complemento de subproductos, residuos de cosecha y concentrados; (2) genética, que es el componente animal o unidad física y bio-económica del sistema; (3) sanidad, que incluye las enfermedades comunes; (4) reproducción, que es el elemento de la dinámica y estructura del hato; y (5) economía, que se refiere a los aspectos sobre relaciones costo-beneficio. Todos ellos integrados en el común denominador "manejo del sistema lechero"; sin embargo, en la realidad, en cada uno de los componentes existen diferentes alternativas que conducen a tener diferentes unidades o

sistemas de producción; por tanto, resulta imposible en forma experimental tratar de analizar físicamente las combinaciones resultantes (Oltenu, 1981).

Consecuentemente, la modelación y la simulación son el medio para estimar o realizar un análisis ex-ante tendiente a obtener una respuesta bio-económica en forma inmediata y económica. En ellas se consideran el objetivo o función del modelo y sus componentes o elementos; las variables que describen las relaciones entre componentes; los parámetros de las ecuaciones bio-matemáticas que cuantifican las relaciones entre componentes y que, en algunos casos, son valores arbitrarios; las restricciones del modelo; y los supuestos en los que el modelo opera (Naylor et al., 1980).

La complejidad puede ser de menor grado; así, modelos simples relacionan la alimentación (requerimientos) y su costo con el valor de la producción (Estrada, 1996). No obstante, se debe considerar que un

modelo debe ir de lo sencillo a lo complejo, en la medida en que responda a los objetivos planteados. En ocasiones, en la programación de algunos modelos complejos no existe la información o su ejecución no responde a los objetivos planteados. En la modelación y programación de subrutinas se deben considerar tanto las variables de condición como las exógenas y endógenas. Entre las primeras se tienen el peso, requerimientos de manutención, consumo, regulación de calor, gasto energético en pastoreo, así como variables que indican la condición fisiológica y productiva. Entre las exógenas se tienen la disponibilidad de forraje, el valor nutritivo, el clima y los precios e insumos. Entre las endógenas se encuentran la producción de leche y carne, y los valores económicos del sistema.

El componente animal: el hato

El animal es el componente físico y constituye la unidad dinámica básica de transformación y producción. Este componente debe presentar todos los atributos necesarios en relación con las entradas ("input", alimentación) y a las salidas ("output", producción de leche, carne y crías). La Figura 3 describe la dinámica del hato en relación con los aspectos económicos. El modelo planteado permite simular la productividad del hato usando una hoja de cálculo o un lenguaje de programación considerando los parámetros específicos para un sistema. En su programación se pueden definir cuatro bloques en el hato: los periodos productivo y no productivo del animal; la estructura y la productividad del hato; y los ingresos, costos y rentabilidad. La agregación de los animales constituye la estructura del hato.

Entre los atributos básicos del componente animal se consideran el peso, la edad y el sexo; en algunos modelos se consideran el estado de lactancia, días abiertos, ciclo estrual, días de preñez y número de lactancia (León-Velarde, 1991). La raza generalmente se considera implícita en las ecuaciones de la curva de producción de leche y en la ganancia de peso, por lo

cual, generalmente, se excluye el componente genético. Esta modelación, dependiendo del objetivo, puede ser en forma independiente, aún sin considerar el componente alimentación (Meuwissen, 1990). En la dinámica del hato, además de lo mencionado anteriormente, se deben considerar los eventos relacionados con ciclo de vida y de producción (Figura 1), entre ellos: mortalidad, preñez y mastitis. En la modelación se debe determinar el tipo de distribución de densidad probabilística —las más comunes son binomial y normal— lo que permite usar los números al azar para aleatorizar el proceso de simulación; en este caso, los modelos que se construyen son estocásticos. En otros casos, se requiere la construcción de ecuaciones, tanto reales como empíricas, en especial en relación con la reproducción (p. ej., probabilidad de obtener preñez al primero, segundo y sucesivos servicios).

El objetivo de un sistema de producción con ganado doble propósito es producir leche y carne; por tanto, la curva de producción de leche y el crecimiento de los animales son los atributos de mayor importancia en el proceso de modelación. En los modelos que consideran grupos de animales se plantea un tipo de curva de lactancia basada, generalmente, en la curva gamma incompleta (Wood, 1967) u otras como modelo compartamental y compartamental modificado (León-Velarde et al., 1995). No obstante, si se describe un modelo de unidad animal se debe considerar que cada animal debe tener su propia curva de lactancia, la cual debe estar relacionada con los requerimientos nutritivos y el estado fisiológico para considerar el componente de alimentación.

El componente alimentación

El componente alimentación integra los requerimientos del animal y la forma de alimentación, la cual incluye las diversas combinaciones de recursos forrajeros: pastos-forraje, subproductos y residuos de cosecha, así como la suplementación con concentrados u otros productos; en este

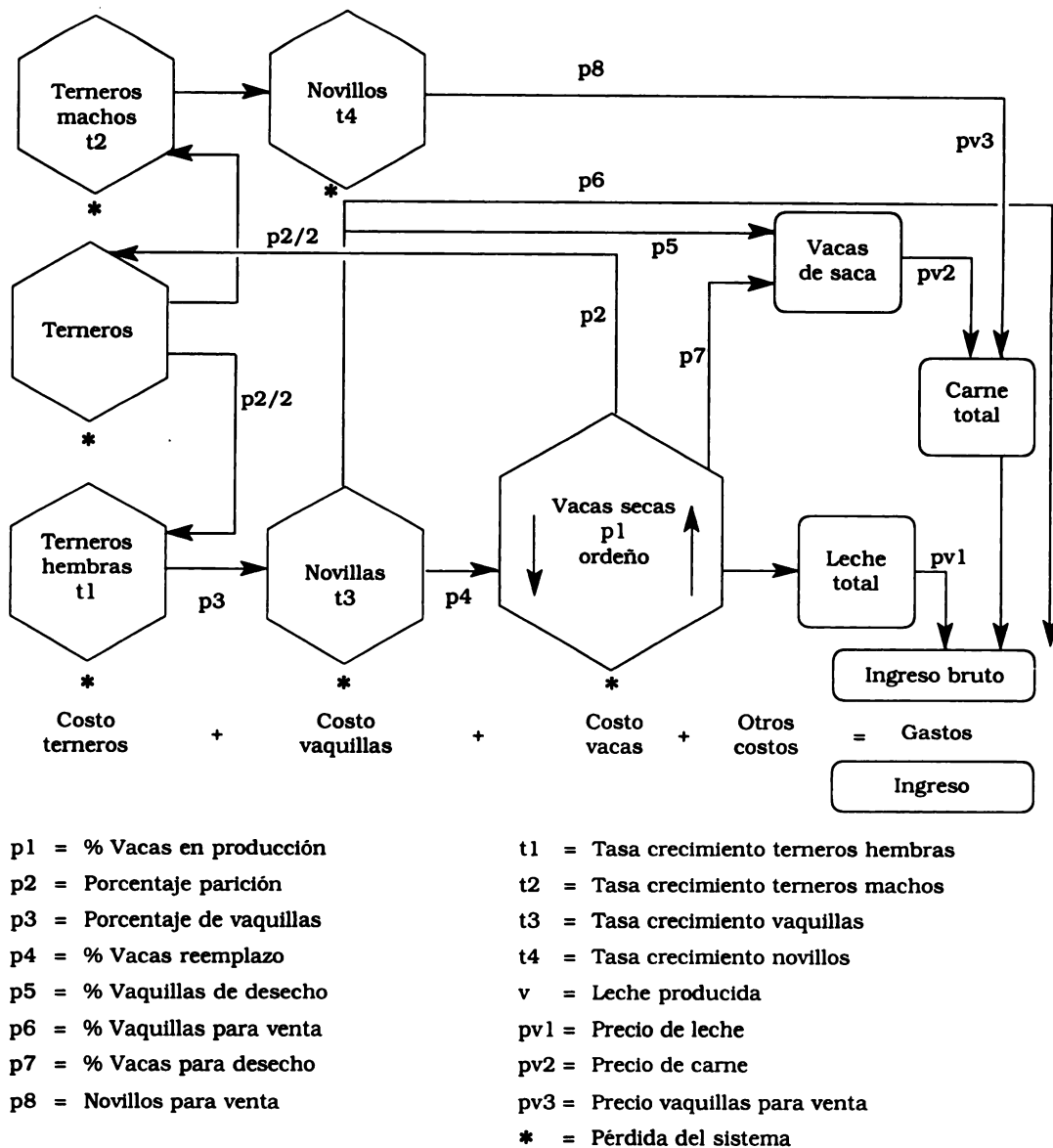


Figura 3. Esquema de la dinámica de un hato en relación con el valor de la producción.

caso, se debe considerar el efecto sustitutivo de éste en relación con el total de materia seca (MS) consumida. Esta última tiene amplia relación con la capacidad de consumo del animal, que varía según las condiciones de raza, tipo de ración, alimento y otros factores exógenos al animal (Figura 4).

En el componente alimentación, la entrada principal para obtener los nutrientes de energía y proteína la constituye el consumo de MS. Por tanto, éste debe contener una densidad calórica y proteica que cubra los requerimientos de manutención, reproducción, producción y crecimiento.

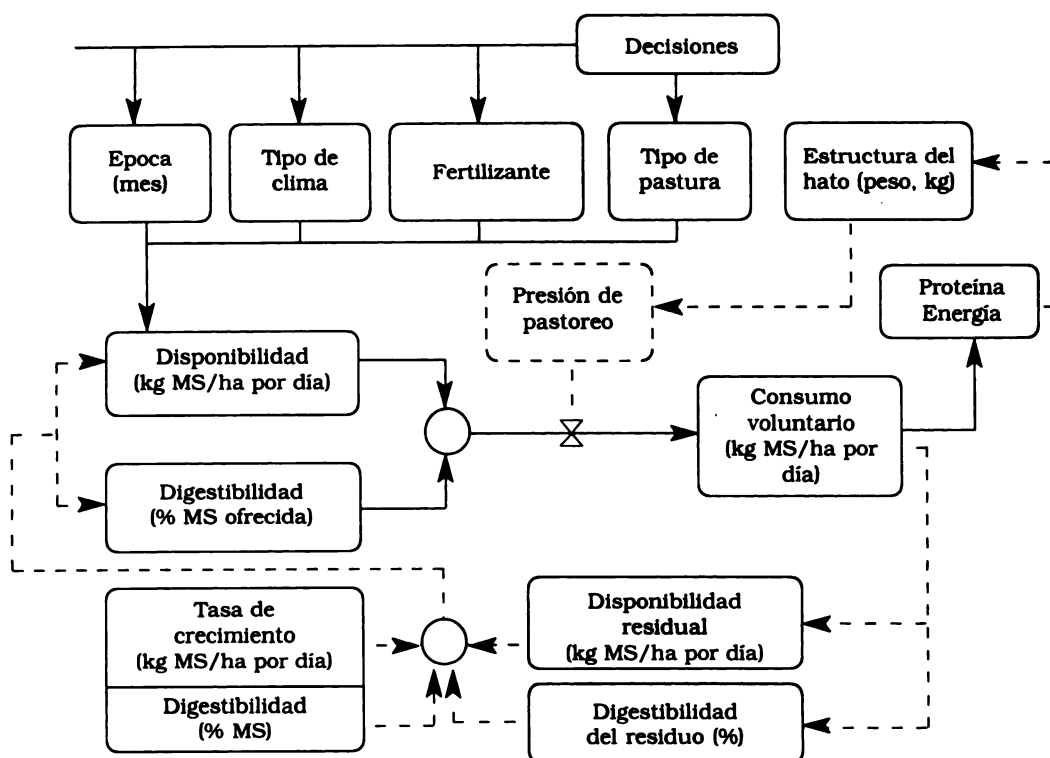


Figura 4. Esquema del efecto de variables exógenas en el consumo de materia seca al pastoreo.

En la modelación del consumo se debe considerar si el modelo es de unidad animal o de grupo, el intervalo de tiempo y la forma de explotación: intensiva (estabulación), extensivo (a pastoreo) y el tipo de explotación (doble o de un solo propósito). El consumo de MS está en relación con el peso vivo animal (PV) (NRC 1987, 1989), existiendo variabilidad en el consumo según tipo de alimento, clima y raza. Generalmente, el rango de consumo de MS varía entre 1.8 y 3.1 kg/100 kg de PV. También puede ser expresado en función del peso metabólico ($PV^{0.75}$). En la Figura 4 se describe en forma simplificada el consumo de MS en pastoreo, y en la Figura 5 se presentan las interacciones entre animal y pastura. Se observa que la disponibilidad de forraje, la cual tiene una digestibilidad determinada, es afectada por la época y forma de uso de la pastura. En este caso, la presión de pastoreo —determinada por la

estructura del hato en función de peso por unidad de superficie— juega un papel importante en la recuperación y crecimiento de la pastura para sucesivos periodos de consumo que se simulan. En estabulación, el aporte de MS es directo, en contraste con el pastoreo; en ambos casos se considera una variación diaria aleatoria, en un rango entre 3% y 7%, el cual depende del tipo de forraje, el animal y la época.

Consumo de energía. La energía consumida debe ser derivada a energía neta para manutención y producción (NRC, 1989). En la Figura 6 se describe el flujo que se debe considerar en la modelación de la subrutina de uso de la energía. En animales en estabulación no se considera el requerimiento de energía por consumo, el cual sí debe tenerse en cuenta en modelos que incluyen obtención de forraje en pastoreo (Cañas y Gasto, 1974).

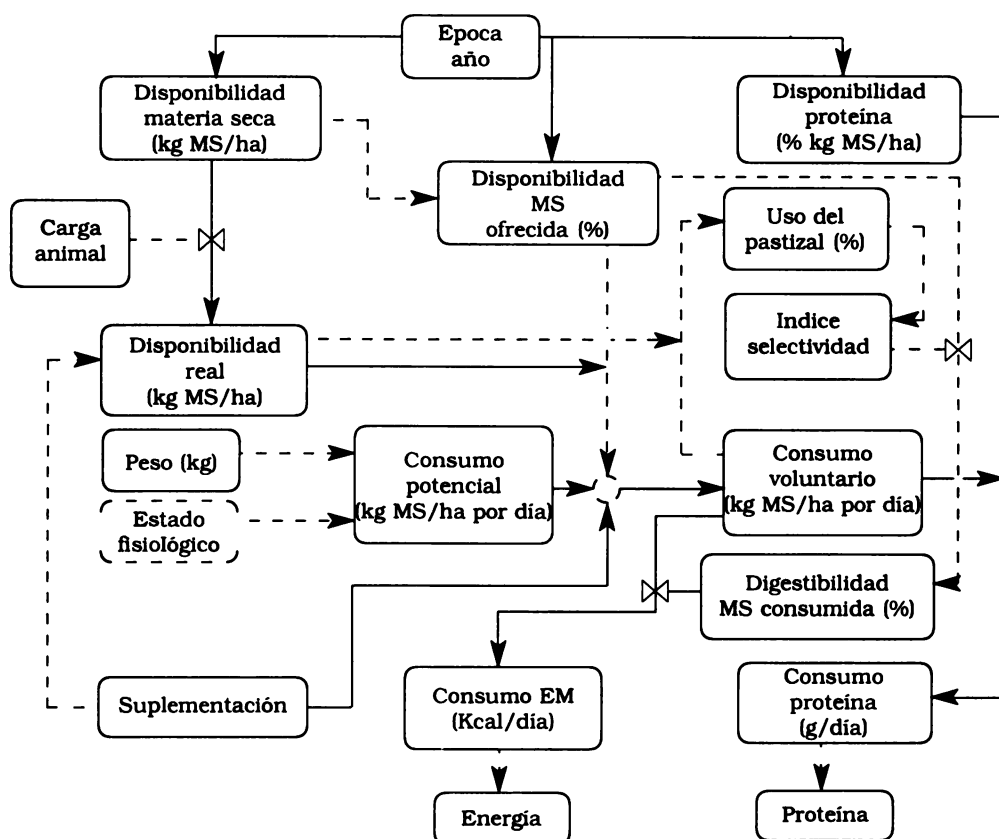


Figura 5. Interacciones entre el consumo potencial y voluntario de materia seca con la pastura, en términos de disponibilidad real de materia seca y proteína en relación con la época del año.

La energía de requerimiento es comparada con la necesaria para obtener los niveles de producción y crecimiento (cambios de peso). Es necesario considerar que los requerimientos pueden variar en relación con la raza. Generalmente, la información de requerimientos que se publica (NRC, 1989) se refiere a animales puros y en estabulación, por lo que en condiciones tropicales se debe considerar un ajuste de los requerimientos, especialmente por efecto de pastoreo; sin embargo, en forma general, la información matemática para derivar requerimientos se ajusta adecuadamente a las necesidades tropicales (Church, 1988; Quiroz et al., 1994).

Consumo de proteína. Se han desarrollado diversos modelos matemáticos que describen el metabolismo del nitrógeno, los cuales se utilizan en el balance de dietas y como guía para investigaciones futuras. Los modelos incluyen diversos sistemas propuestos por ARC, NRC y Cornell, entre otros (Church, 1988). Todos los modelos tienen el mismo concepto, pero difieren en las ecuaciones que plantean. En la Figura 7 se describe la utilización de la proteína, considerando su uso en el rumen y su absorción en el intestino delgado, y se relaciona con los requerimientos de este nutriente.

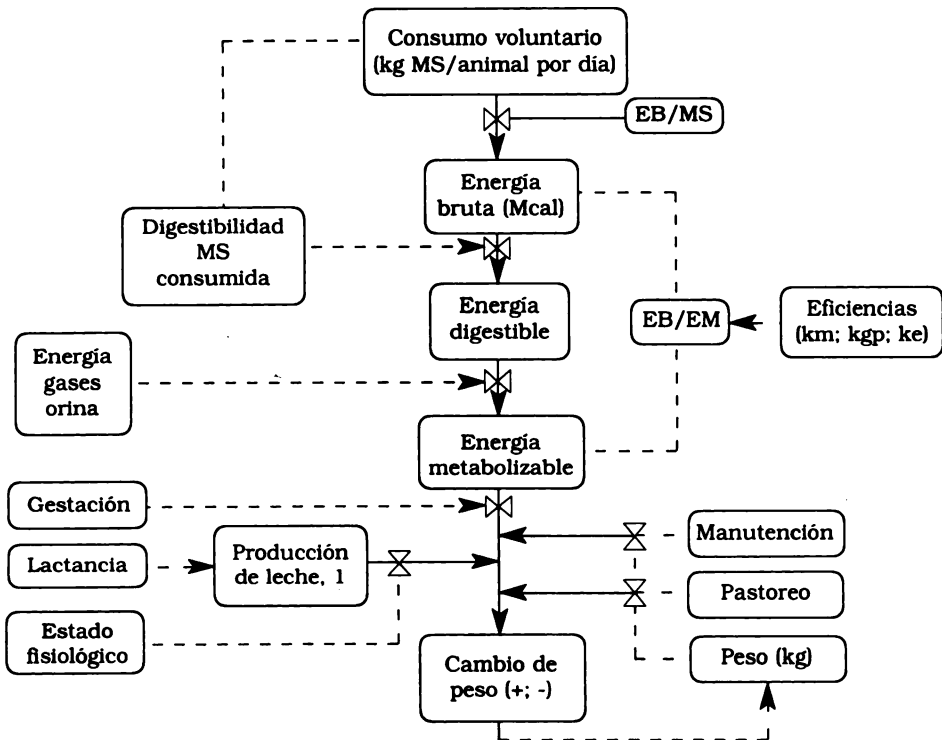


Figura 6. Esquema resumido del uso de la energía proveniente de la materia seca consumida.

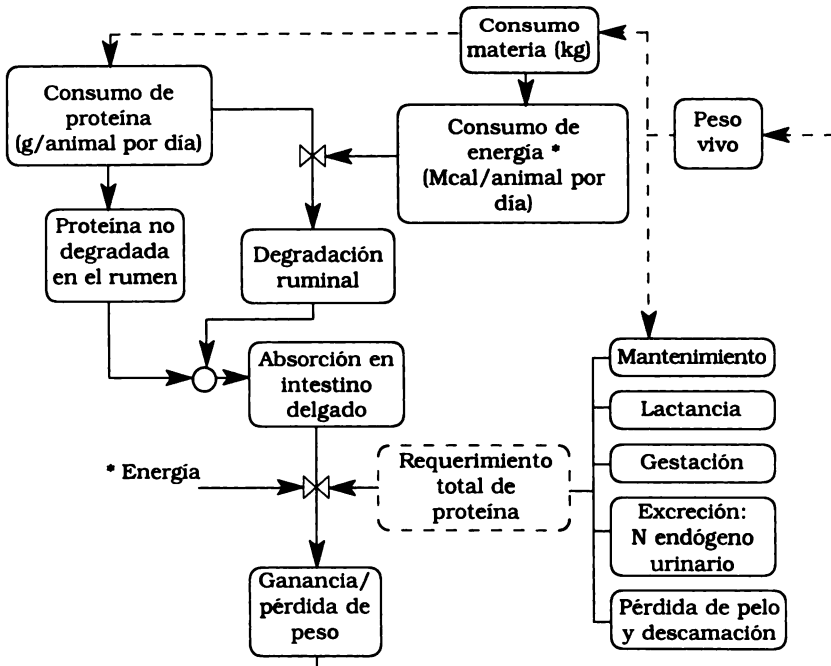


Figura 7. Esquema resumido del uso de la proteína proveniente de la materia seca consumida.

El requerimiento de proteína está en función del peso metabólico, el valor biológico de la proteína y su digestibilidad, y las pérdidas corporales. El valor de la proteína se asume igual a 50% y el mínimo de digestibilidad proteica en 55%. Cuando se consideran los requerimientos de mantenimiento se deben incluir el nitrógeno urinario endógeno, metabolismo fecal del nitrógeno y el crecimiento adulto (pelo, pezuñas, etc.).

En general, el animal en pastoreo consume una cantidad de proteína que genera un balance positivo o negativo. Si el balance es negativo, el animal pierde peso; pero si es positivo, el animal deriva el remanente del mantenimiento a producción o como fuente de energía; en este caso, el exceso se elimina en forma de urea (Quiroz et al., 1994).

Componente reproductivo

La reproducción es parte inherente al animal y constituye la dinámica de crecimiento del hato. Durante el proceso de simulación se le considera como un atributo del animal o del hato. Generalmente, en un modelo grupal se considera un rango de preñez, el cual puede ser corregido por coeficientes de abortos y otros problemas reproductivos, aspectos que, en la mayoría de los casos, no se incluyen. En modelos de unidad animal se puede plantear un rango de preñez para el primer, segundo y sucesivos servicios. Posteriormente, se incluye el período de gestación, que puede ser fijo o estar en un rango, incluyendo la probabilidad del sexo y el peso de la cría, y la sobrevivencia. En la Figura 8 se presentan los principales aspectos de reproducción en relación con la producción

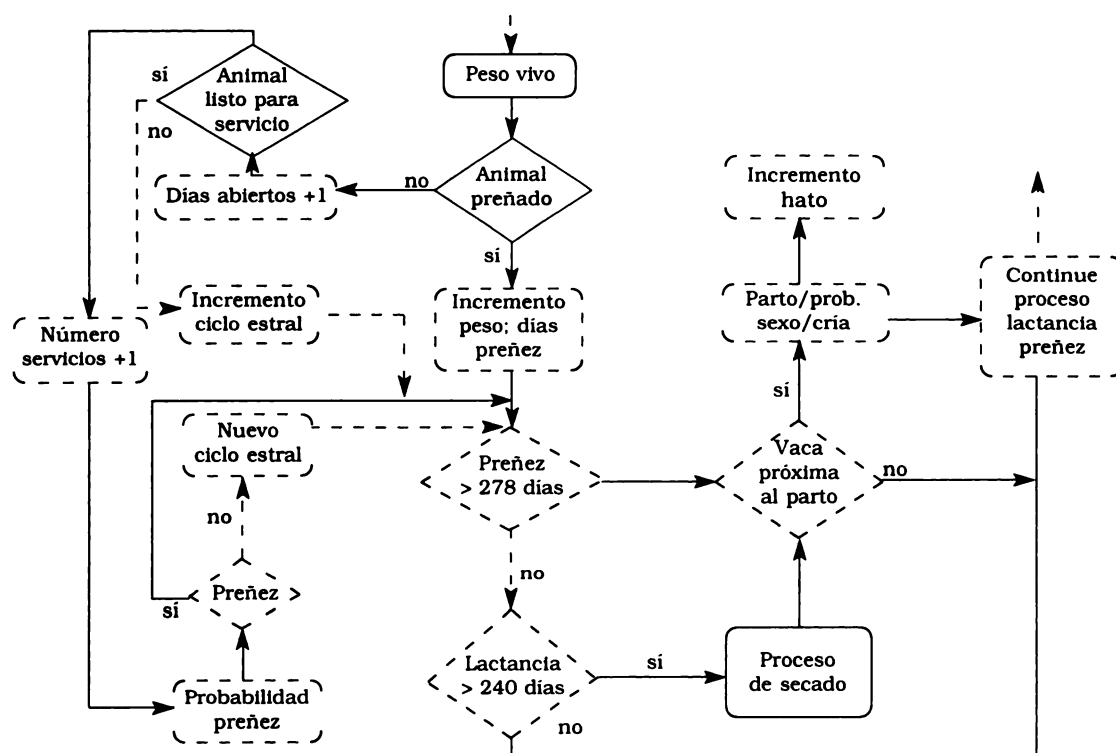


Figura 8. Diagrama del proceso de reproducción en un hato en relación con el incremento del hato y la producción.

y parámetros de manejo del animal en un hato.

En la Figura 9 se presenta la relación de la reproducción, considerando el requerimiento de gestación e incluyendo la composición del feto al parto en relación con el desarrollo del ternero dentro del hato. Los parámetros que influyen en el destete, el engorde y venta de animales son determinados por el modelador en función de las observaciones reales. En forma similar, las relaciones de consumo y crecimiento de forraje se describen en los componentes animal y de alimentación.

Componente de sanidad

La sanidad animal en las explotaciones lecheras es preventiva. Se basa en vacunaciones, curaciones externas y, eventualmente, atención veterinaria. Por tanto, su inclusión en modelos de simulación de hatos lecheros es relativa, aunque existen modelos epidemiológicos que consideran aspectos específicos de diseminación de enfermedades y plagas (Mishoe et al., 1994).

En general, la sanidad está implícita en los parámetros de mortalidad que existen en

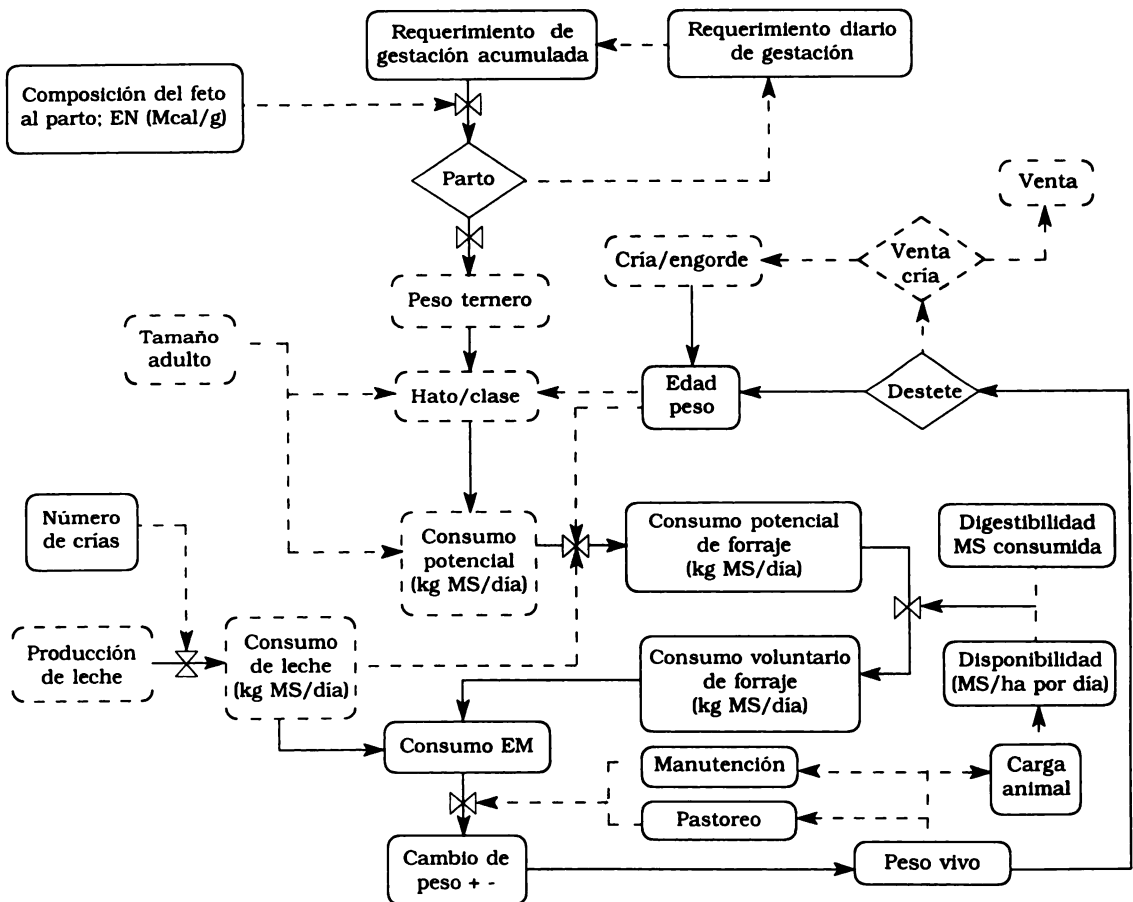


Figura 9. Relación de la reproducción con la dinámica del hato, considerando la disponibilidad de alimento, la producción y el desarrollo de los animales en crecimiento como indicadores para tomar decisiones de cría, venta o engorde.

el hato y se considera en forma indirecta como gastos por sanidad en los costos de producción. En éstos se incluye un valor que afecta el beneficio, pero no la dinámica del hato en aquellos casos en que la enfermedad produce mortalidad o disminución de la producción. Como resultado, los coeficientes de mortalidad deben ser diferentes para cada grupo de animales en el hato. Una enfermedad de importancia es la mastitis, la cual afecta la producción e influye sobre el beneficio; por tanto, su inclusión en los modelos es relativa, siendo una función de los coeficientes de pérdida de producción de leche; no obstante, en algunos casos no se considera debido a la falta de información. Modelos como DAIRYSIM (León-Velarde, 1991) la incluyen en función de probabilidad de presencia de la enfermedad en cada lactancia (Congleton, 1984).

Componente económico

La economía de la explotación se expresa generalmente por costos variables totales y por ingreso bruto de los productos. En el caso de modelos de unidad animal o, en forma global, en modelos de hato, se utiliza el método de agregación. La diferencia se expresa como margen bruto, debido a que en la mayoría de modelos no se incluyen costos fijos; por tanto, en la modelación del elemento económico debe considerarse el objetivo y plantear claramente los supuestos

y las restricciones del modelo. Es necesario considerar que la variación de los precios de los insumos así como la de los productos puede cambiar en el tiempo, o sea, que en programas que simulen a través del tiempo se debe considerar el producto biológico como primer objetivo, el económico como segundo y hacer las correcciones del caso en términos de valor presente neto a fin de disponer de comparación en una misma base.

Modelos de Producción Animal

Varios investigadores han desarrollado modelos de producción animal para fines específicos, algunos de ellos mencionados anteriormente. En este documento se plantean algunos modelos de finca desarrollados para uso en Puno, Perú (Cañas et al., 1991; Arce et al., 1994; Quiroz et al., 1994); en Ontario, Canadá, (León-Velarde, 1991) y en Carchi, Ecuador (Arce et al., 1996). En el Cuadro 1 se describen los aspectos relevantes de esos modelos aleatorios en relación con los componentes y su función. Se observa que los modelos que incluyen alimentación en pastoreo son del tipo hato. Asimismo, la inclusión del componente genético no es un común denominador en ellos. Estos, generalmente, se construyen en forma grupal y no incluyen los demás componentes.

Cuadro 1. Modelos de producción animal en pastoreo y en estabulación, contruidos para uso en investigación en la ecorregión Andina del Perú y en Ontario, Canadá.

Modelo	Función	Tipo	Alimentación	Reproducción	Sanidad ¹	Genética	Economía
DAIRYSIM ^a	Leche	Animal/hato	Estabulación	Animal	Mastitis	Si	Si
Alpaca ^b	Fibra/carne	Hato	Pastoreo	Grupo	No	No	No
Ovinos ^c	Lana/carne	Hato	Pastoreo	Grupo	No	No	No
Carne ^d	Carne	Animal	Estabulación	No	No	No	No
SIM ^e	Doble propósito	Hato	Pastoreo	Grupo	No	No	Si

1. Incluye mortalidad en cada grupo/hato.

FUENTES: a = León-Velarde, 1991; b = Arce et al., 1994; c = Cañas et al., 1994; d = Quiroz et al., 1994; e = Arce et al., 1996.

A continuación se describen, en forma resumida, los modelos DAIRYSIM y SIM, relacionados con la producción de leche. La diferencia entre ambos es marcada; el primero es de animal/hato en estabulación y el segundo es de doble propósito en forma grupal bajo pastoreo e incluye cultivos.

Modelo DAIRYSIM

El modelo DAIRYSIM fue construido para describir la función bio-económica de una finca lechera. La organización estructural del modelo combina la información biológica con las características económicas de una finca en relación con los animales presentes en el hato. Para determinar la rentabilidad de una finca lechera, el modelo incluye variables estocásticas y determinísticas para simular el hato en forma diaria, considerando el ciclo de vida del animal con base en los requerimientos de mantenimiento, crecimiento, producción y reproducción, además, de la selección por criterios de producción y reproducción. En la Figura 10 se describe esquemáticamente el diagrama de flujo del modelo DAIRYSIM.

El modelo se inicia con una situación estática de la finca en sus recursos: trabajo, alimento y estructura del hato; y cada animal definido por su edad (en días), sexo y estado fisiológico —número de lactancia, vaca seca, días de lactancia y días de preñez. Para simular diferentes sistemas, estimando su rentabilidad bajo diferentes estrategias de manejo sin limitaciones, se consideraron variables como: reproducción (nivel de fertilidad), producción (parámetros de la curva de lactancia), selección (índice de selección para leche y grasa), mortalidad dentro de cada categoría, mastitis, precio de leche y carne, costo de inseminación artificial e incremento del costo de la alimentación.

En el Cuadro 2 se presentan las combinaciones de las variables que permiten considerar diferentes estrategias de manejo en los análisis de la finca. La cantidad de energía metabolizable y proteína cruda varía en relación con el peso y la composición química del alimento consumido (pasto y

suplementación por producción). Los requerimientos se calculan de acuerdo a las tablas del NRC (1989). Los factores ambientales no se consideran. La información utilizada para probar el modelo se obtuvo de hatos comerciales y fue referida a la presentada en el Proyecto de Lechería de Ontario (Ontario Dairy Farm Accounting Project, 1986).

El componente genético incluyó tres sementales escogidos al azar entre el 8% y el 16% del promedio de producción de leche de vacas al primer parto. Los toros se ordenaron por producción; cada año se eliminó el de menor producción, incorporando uno de mayor producción que los dos restantes y que el promedio del hato. El costo de inseminación artificial se derivó de la información de fincas y varió en relación con el potencial lechero.

Cada día se calculó y acumuló el costo total. Este costo se dividió en dos partes; la primera incluye el costo directo al animal representado por el alimento, el trabajo, la inseminación artificial y los casos de mastitis severa con reducción en la producción de leche. El costo de trabajo se calculó para cada animal con base en unidad animal (UA) sobre el hombre de trabajo equivalente (HET), estimado como $HET = 0.432 + 0.024 UA$.

La segunda parte del costo total se calculó para cada año sobre la base de un hato en unidades animal, como $DC = 1.72 + 0.018 UA - 0.00008 UA^2$. Ambas ecuaciones y los precios de leche y carne se derivaron de información relevante (Ontario Dairy Farm Accounting Project, 1986). Para los precios de la leche, la carne y la inseminación artificial se utilizaron los incrementos anuales determinados por la tendencia de precios en un periodo reportado y de acuerdo con la tasa de inflación. En forma similar, se incrementaron los costos de la alimentación y el trabajo. El total de los costos e ingresos diarios se usó para el cálculo del ingreso por cada animal en el hato. Los terneros machos se vendieron al nacimiento y no se hicieron gastos para compra ni se vendieron

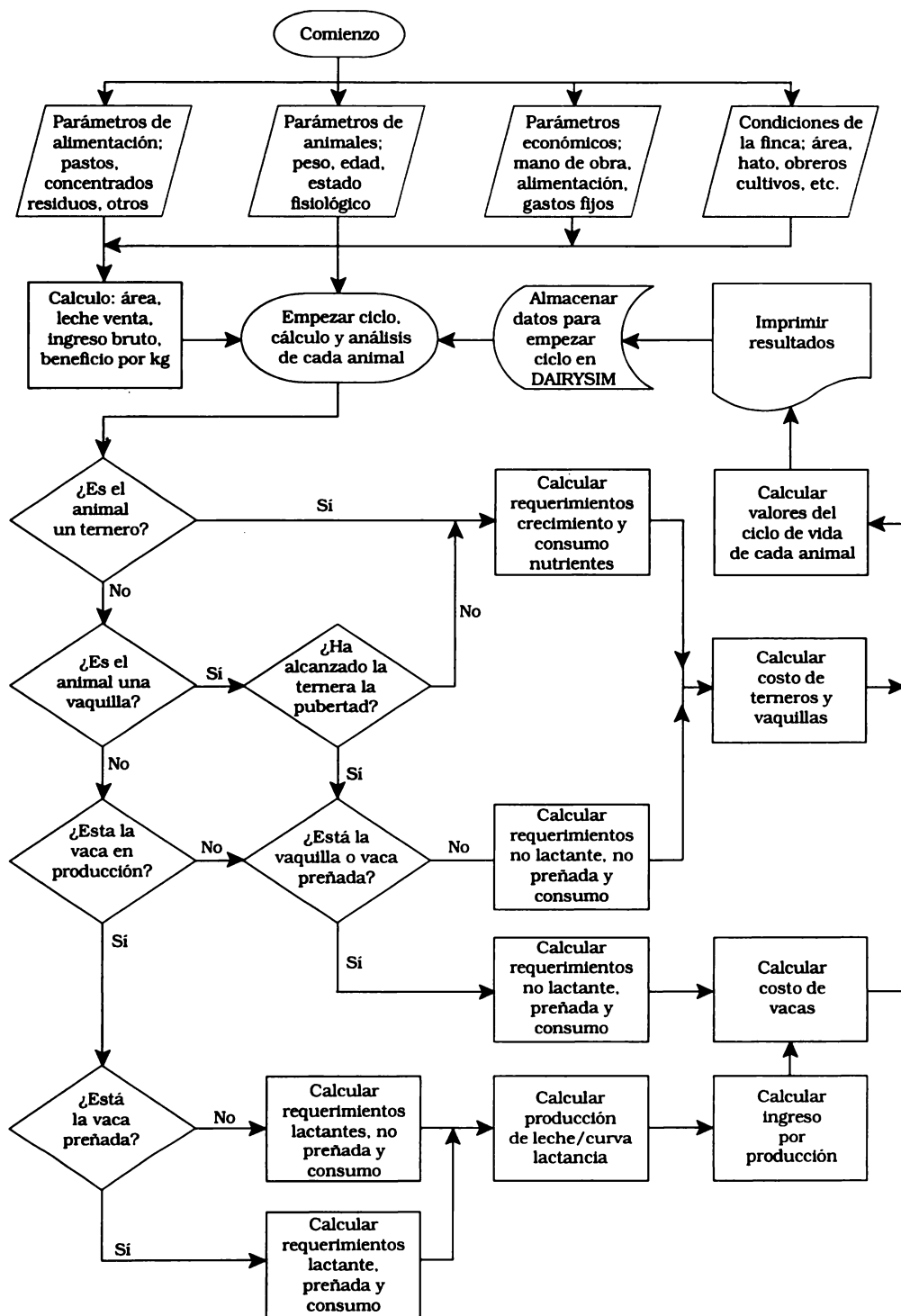


Figura 10. Representación esquemática y resumida del modelo DAIRYSIM o modelo de simulación de sistemas lecheros intensivos (León-Velarde, 1991).

Cuadro 2. Factores, niveles y condiciones que se pueden variar en el modelo DAIRYSIM, para simular diferentes estrategias de manejo para producir leche en condiciones de estabulación y diferentes sistemas lecheros.*

Factores	Valores						
Decisiones de manejo:							
Tamaño hato (no. vacas) ^b	(15)	18	25	36	45	52	(55)
Tasa de desecho (%) ^b	(5)	6.5	10	15	20	23.5	(25)
Efectos de manejo:	(20)	P	R	Prom.	B	Exc.	
		(26.4)	(40)	(60)	(80)	(93.7)	(100)
Fertilidad (%)^c:							
Vacas	(60)	61.6	65	70	75	78.4	(90)
Novillas	(55)	56.6	60	65	70	73.4	(75)
Mastitis (%)^c:							
Primera lactancia	(10)	9.4	8	6	4	2.6	(2)
Segunda lactancia	(12)	11.4	10	8	6	4.6	(4)
Tercera lactancia	(14)	13.4	12	10	8	6.6	(6)
Mortalidad (%)^c:							
Vacas	(9)	8.4	7	5	3	1.6	(1)
Novillas < 1 año	(10)	9.4	8	6	4	2.6	(2)
Novillas > 1 año	(12)	11.4	10	8	6	4.6	(4)
Terneros	(14)	13.4	12	10	8	6.6	(6)

- a. Los niveles se codificaron como: -1.682, -1, 0, 1 y 1.682. Los valores entre paréntesis corresponden a los extremos del sistema con código 2.
- b. Tamaño del hato y tasas de desecho por baja producción son decisiones de manejo directamente hechos por el productor.
- c. El nivel de fertilidad es definido como probabilidad de preñez al primer servicio, que declina en los servicios siguientes. La fertilidad, los casos severos de mastitis y la mortalidad se consideran como efectos de manejo y se agruparon en porcentaje como pobre (P), regular (R), promedio (Prom.), bueno (B) y excelente (Exc.) manejo.

novillas para reemplazo. El ingreso total neto del sistema se calculó como la suma del ingreso neto diario por leche vendida más la venta de terneros machos y vacas de desecho.

Modelo SIM

El modelo SIM (sistema integrado de modelación para la planificación y evaluación de opciones de producción agropecuaria) fue construido para analizar los sistemas mixtos de pequeños productores del ecosistema húmedo altoandino de la provincia del Carchi, Ecuador (Arce et al., 1996). El modelo plantea dos situaciones diferentes; la primera es un modelo de doble propósito y la segunda es un modelo de producción de papa, actividades relevantes en esa zona. El modelo permite analizar ambos programas por separado o en forma conjunta, de acuerdo con el tipo de sistema —doble

propósito, papa, o sistema mixto de papa-leche. Asimismo, es posible unir la información resultante mediante programación lineal con el objeto de optimizar el mejor uso de los recursos. En este proceso, los autores plantean la técnica de multicriterio o método "step" (Maino et al., 1993), con el fin de optimizar los resultados (Figura 11). En forma similar es posible usar otras técnicas de optimización descritas para sistemas lecheros o agropecuarios (Mayer et al., 1996).

En el modelo de doble propósito, las subrutinas reproducción, producción y alimentación que incluye el consumo de MS en forma aleatoria y el uso de energía y proteína consumidas en relación con los requerimientos, son similares a las descritas anteriormente. Por tratarse de un modelo grupal, es posible considerar la rotación de pasturas en forma

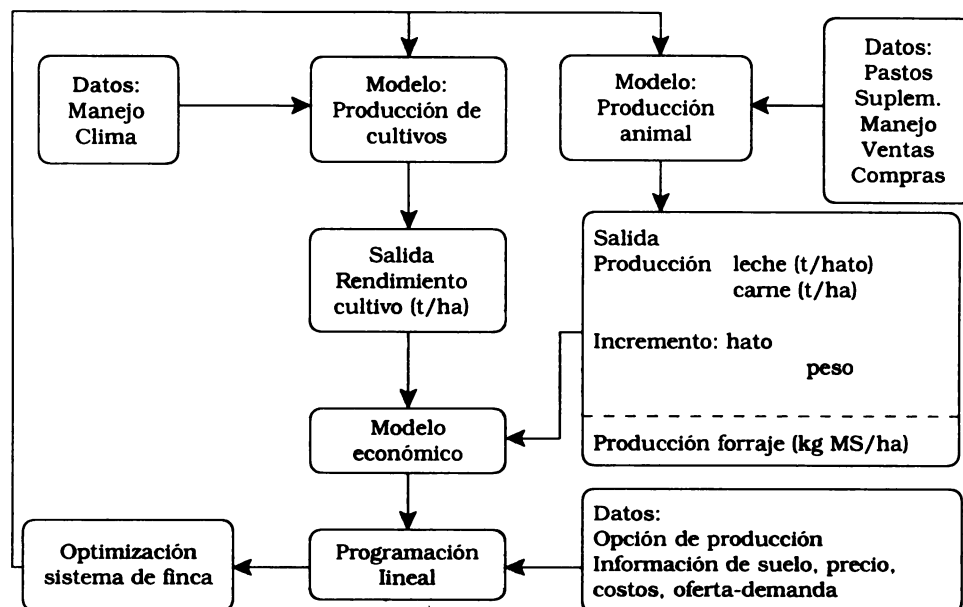


Figura 11. Representación del modelo SIM (sistema integrado de modelación para la planificación y evaluación de opciones de producción agropecuaria) para pequeños productores del ecosistema húmedo altoandino de la provincia del Carchi, Ecuador.

FUENTE: Arce et al., 1996.

secuencial. Todos los cálculos de estado fisiológico se realizan en forma grupal y determinística.

La parte correspondiente a cultivos incluye sólo la estimación del rendimiento de papa, cultivo relevante en la zona del Carchi. En esta fase, el desarrollo del modelo se basa en la estimación de la producción potencial en función del manejo de la semilla y los arreglos de siembra; al valor obtenido se le sustraen las pérdidas posibles en las etapas de crecimiento de la papa por causas climáticas, suelo, control sanitario y de manejo del cultivo (Figura 12).

Uso de Modelos

Los modelos de simulación se construyen con un objetivo específico y se deben considerar como un medio; por tanto, no constituyen en un objetivo del modelador,

pero sí del programador. Están orientados a la investigación y hacen posible detectar los escenarios o alternativas del mejor uso de los recursos; en enseñanza, son importantes en la toma de decisiones ante diferentes situaciones posibles o difíciles de ocurrir en la práctica. Los modelos diseñados para el análisis en forma objetiva de una finca pueden derivarse para uso en extensión. Estos, generalmente, son determinísticos, salvo que el programa pueda generar varias "corridas" y establecer un rango de resultados posibles de visualizar.

El diseño experimental de composición central rotatable es una de las formas del uso de modelos en investigación o enseñanza, con posibilidades de incluir y modificar dos o más condiciones en un rango determinado (Montgomery, 1984). Este diseño permite crear superficies de respuesta con tres variables, en la cual una se mantiene fija y se puede graficar la observación sobre el efecto de dos variables. La información del

Cuadro 2 permitió obtener la superficie de respuesta descrita en la Figura 13 (León-Velarde, 1991); en forma similar, el modelo de alpacas permitió analizar el

efecto de carga animal y la tasa de crecimiento de pasturas altoandinas sobre el ingreso del sistema (León-Velarde et al., 1993).

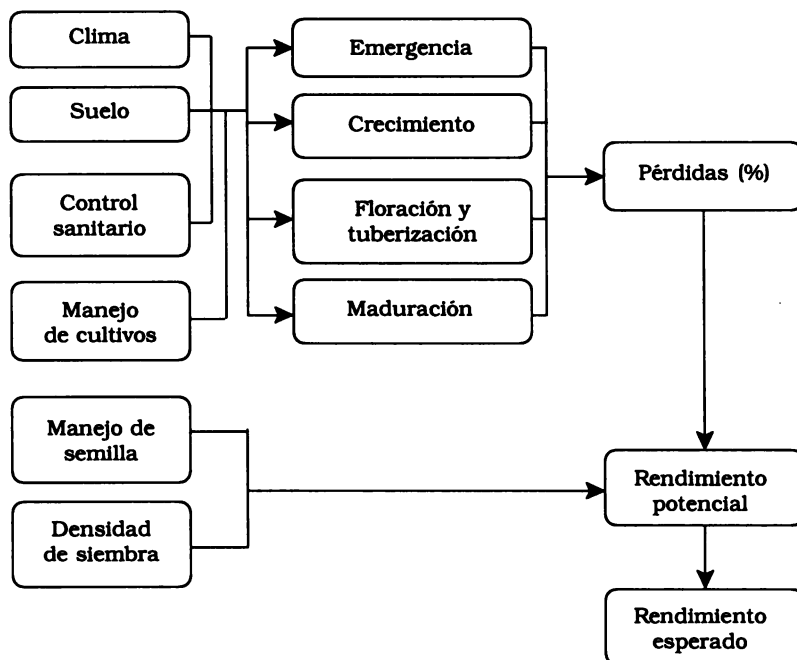


Figura 12. Representación esquemática del componente de cultivo de papa en el modelo SIM.

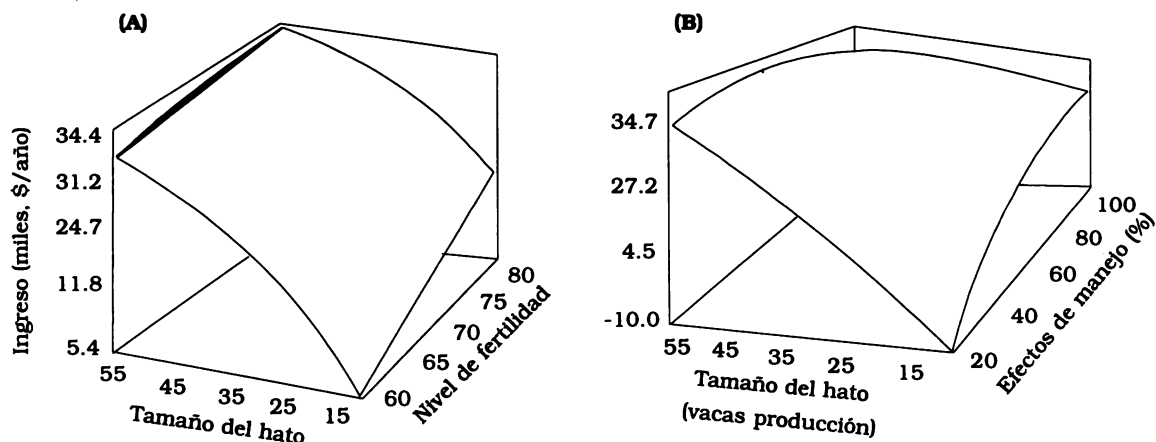


Figura 13. Superficies de respuesta obtenidas mediante el uso del modelo DAIRYSIM combinando tamaño de hato con: (A) nivel de fertilidad y peso de novillas al primer servicio (370 kg) y (B) efectos de manejo y tasa de descarte de 15%.

Consideraciones Finales

En el presente trabajo no se pretendió describir en detalle las ecuaciones que intervienen en el proceso de producción de leche en los sistemas de doble propósito y en los intensivos, las cuales puede el lector encontrar en diversos trabajos y libros sobre el tema. Pero si se describen las relaciones que existen entre los componentes que se deben tomar en cuenta en los diseños de modelos de simulación, de tal forma que permitan su programación y simulación por medios computarizados. La inclusión de un parámetro en particular dependerá de la información existente y del objetivo del modelo.

Los modelos serán útiles en la medida en que sean precisos, de acuerdo con su función objetivo en la construcción de escenarios que permitan la toma de decisiones. Asimismo, en la docencia y en la extensión son útiles para identificar la falta de conocimiento y la posibilidad de plantear experimentos específicos. En todos los casos, se deben manejar y utilizar con el criterio que un modelo no es el objetivo, sino un medio de representar la realidad.

Referencias

- Arce, B.; Reinoso, A.; Gallo, G.; Chiriboga, G.; Castillo, F.; y Paladines, O. 1996. Sistema integrado de modelación para la planificación y evaluación de opciones de producción agropecuaria para pequeños productores del ecosistema húmedo altoandino de la provincia del Carchi, Ecuador (SIM). FUNDAGRO/CONDESAN. 172 p. (Sin publicar.)
- _____; Aguilar, C.; Cañas, R.; y Quiroz, R. 1994. A simulation model of an alpaca system in the dry Puna of the Andes. *Agric. Syst.* 46:205-225.
- Blackie, M. J. y Dent, J. B. 1974. The concept and application of skeleton models in farm business analysis and planning. *J. Agric. Econ.* 25:165-174.
- Boneschanscher, J.; James, A. D.; Stephens, A. J.; y Esselemont, R. L. 1982. The cost and benefits of pregnancy diagnosis in dairy cows: A simulation model. *Agric. Syst.* 9:29-34.
- Bywater, A. C. y Dent, J. B. 1976. Simulation of the intake and partition of nutrients by the dairy cow: Part 1. Management control in the dairy enterprise; philosophy and general model construction. *Agric. Syst.* 1:245-260.
- Cañas, R.; Aguilar, C.; y Edwards, G. 1991. Modelo de simulación de producción ovina para la zona de Puno-Perú. En: Aguelles, L. y Estrada, R. (eds.). *Perspectivas de la investigación agropecuaria para el Altiplano. Proyecto de Investigación de Sistemas Andinos (PISA)*. 504 p.
- _____, y Gasto, J. 1974. Costo de cosecha y eficiencia de producción de ecosistemas ganaderos. *Ciencia e Investigación Agraria (Chile)* 1:179.
- Church, D. C. 1988. *The ruminant animal: Digestive physiology and nutrition*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey. 564 p.
- Congleton, W. R. Jr. 1984. Dynamic model for combined simulation of dairy management strategies. *J. Dairy Sci.* 67:644-660.
- Dijkhuizen, A. A.; Stelwagen, J.; y Renkema, J. A. 1986. A stochastic model for the simulation of management decisions in dairy herds, with special reference to production, reproduction, culling and income. *Prev. Vet. Medicine* 4:273-289.
- Estrada, R. D. 1996. Utilización de los modelos de simulación para enfrentar los actuales retos del sector ganadero. En: *Análisis biológico y matemático de sistemas de producción agropecuaria altoandinos: Memorias. FUNDAGRO-INIAP, Quito, Ecuador*. p. 139-159.
- Gartner, J. A. 1981. Replacement policy in dairy herds on farms where heifers compete with the cows for grassland: Part 1: Model construction and validation. *Agric. Syst.* 7:289-318.
- Groen, A. F. 1988. Derivation of economic values in cattle breeding: A model at farm level. *Agric. Syst.* 27:195-213.
- León-Velarde, C. U. 1991. A simulation model to analyze the bio-economic function of cows in intensive dairy farms using a systems approach. Ph.D. Tesis, University of Guelph, Canadá. 256 p.

- _____.; McMillan, I.; Gentry, R. D.; y Wilton, J. W. 1995. Models for estimating typical lactation curves in dairy cattle. *J. Anim. Breed. Genet.* 112:333-340.
- _____. y Quiroz, R. 1993. Análisis de sistemas agropecuarios; uso de métodos bio-matemáticos. Editorial Edigraf, La Paz, Bolivia. 238 p.
- Maino, M. M.; Pittet, D. J.; y Kobrich, G. C. 1993. Programación multicriterio: Un instrumento para el diseño de sistemas de producción. RISPAL. Serie materiales docentes no. 3. 97 p.
- Mayer, D. G.; Belward, J. A.; y Burrage, K. 1996. Use of advanced techniques to optimize a multi-dimensional dairy model. *Agric. Syst.* 50:239-253
- Meuwissen, T. H. E. 1990. Optimization of dairy cattle breeding plans with increased female reproductive rates. Tesis, Research Institute for Animal Production "Scchoonoord", Wageningen, Holanda. 106 p.
- Mishoe, J. W.; Jones, J. W.; Swaney, D. P.; y Wilkerson, G. G. 1984. Using crop and pest model for management applications. *Agric. Syst.* 15:153-170.
- Montgomery, D. C. 1984. Design and analysis of experiments. John Wiley, Nueva York. 538 p.
- Naylor, T.; Balintfy, J.; Burdick, O.; y Chu, K. 1980. Técnica de simulación en sistemas. Limusa, México D.F. 390 p.
- Nicholson, C. F.; Lee, D. R.; Boisvert, R. N.; Blake, C. I.; y Urbina, I. C. 1994. An optimization model of the dual purpose cattle production system in the humid lowlands of Venezuela. *Agric. Syst.* 46:311-334.
- NRC (National Research Council). 1989. Nutrients requirements of domestic animals; dairy cattle. 6a. Rev. ed. National Academy of Science, Washington, D.C. 157 p.
- _____. 1987. Predicting feed intake of food-producing animals. National Academy of Science, Washington, D.C. 85 p.
- Oltenacu, P. A.; Milligan, R. A.; Rounsaville, T. R.; y Foote, R. H. 1980. Modelling reproduction in a herd of dairy cattle. *Agric. Syst.* 8:193-205.
- _____.; Rounsaville, T. R.; Milligan, y Foote, R. H. 1981. System analysis for designing reproductive management programs to increase production and profit in dairy herds. *J. Dairy Sci.* 64:2096-2104.
- Ontario Dairy Farm Accounting Project. 1986. Univ. of Guelph, Dept. of Agriculture Economics and Business. Agriculture Canada. Extension report 1986. The Ontario Milk Marketing Board, Ontario Ministry of Agriculture and Food, and University of Guelph, Canadá. 55 p.
- Quiroz, R.; Arce, B.; Cañas, R.; y Aguilar, C. 1994. Development and use of simulation models in animal production systems research. En: *Animal production system research; methodological and analytical guidelines.* IDRC/IICA-RISPAL, San José, Costa Rica. p. 103-149.
- Rotz, C. A.; Buckmaster, D. R.; Mertens, D. R.; y Black, J. R. 1989. DAFOSYM: A daily forage system model for evaluating alternatives in forage conservation. *J. Dairy Sci.* 72:3050-3063.
- Spedding, C. W. R. 1988. An introduction to agricultural systems. Elsevier Science Publishing, Inc. 189 p.
- Sorensen, J. T. 1989. A model simulating the production of dual purpose replacement heifers. *Agric. Syst.* 30:15-34.
- Van Arendonk, J. A. M. 1985. A model to estimate the performance, revenues and costs of dairy cows under different production and price situations. *Agric. Syst.* 10:157-187.
- Wood, P. D. P. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 216:164-165.

Anexo 1

Listado de algunas variables de entrada y salida consideradas en la construcción de modelos de simulación de producción animal, con énfasis en producción de leche. Con la información descrita es posible construir variables complementarias necesarias durante el desarrollo del diseño.

Variable/componente	Unidad
Inversión/economía	
Area de la finca	ha
Tamaño promedio del hato adulto	UA
Valor de la inversión total de la finca	\$
Costo del mantenimiento de instalaciones	\$/año
Costo de combustibles y energía	\$/año
Costo de la fertilización	\$/año
Costo del mantenimiento de maquinaria y equipos	\$/año
Costo del mantenimiento de pasturas	\$/año
Costo total de salarios por año	\$/año
Costo total de prevención (sanidad animal)	\$/año
Costo total de alimentos complementarios	\$/año
Costo de inseminación artificial	\$/ampolla
Costo de reemplazo de toros	\$/año
Otros costos (gastos misceláneos de menor cuantía)	\$/año
Ingreso total por venta de leche	\$/año
Ingreso total por venta de novillas infértiles	\$/año
Ingreso total por venta de terneros destetados	\$/año
Ingreso total por venta vacas de desecho	\$/año
Ingreso bruto total al año	\$/año
Ingreso total de la empresa	\$/año
Tasa de rendimiento anual del capital invertido	%
Interés pagado por préstamos	\$/año
Alquiler anual total de la finca (área ocupada)	\$/año
Depreciación anual	\$/año
Tasa de renovación del hato	%
Valor de una unidad de peso vivo (kg)	\$/kg
Valor promedio de un litro de leche	\$/lt
Valor promedio de ternero destetado	\$/ternero
Animales/hato	
Estructura del hato por categorías	UA/categoría
Unidades animal, total	UA
Número de vacas en producción con toro	vacas/toros
Número de vaquillas con toro	vaquillas/toro
Terneros destetados por año	terneros/año
Número anual de vacas secas	vacas/año
Número anual de vacas en producción	vacas/año
Vida productiva esperada (primer parto hasta salida del hato)	años
Novillas desechadas por año por problemas de reproducción	novillas/año
Tamaño del grupo de novillas al apareamiento	vaquillas adultas
Número de vaquillas que deben parir cada año	vaquillas/año
Número de vaquillas que deben llegar al peso de apareamiento	vaquillas/año
Número de partos en el hato por año	partos/año
Promedio anual de terneros lactantes en el hato	terneros

(Continúa)

Anexo 1. (Continuación).

Variable/componente	Unidad
Terneros nacidos vivos por año	terneros/año
Terneros destetados por año, no necesarios para reemplazo	terneros
Terneras destetadas por año, no necesarias para reemplazo	terneras
Edad de la novilla al peso de servicio	meses
Periodo sin alcanzar preñez	meses
Edad al primer parto	meses
Periodo para obtener peso adecuado para servicio después del destete	meses
Intervalo entre partos	meses
Duración de la lactancia	días
Duración del periodo de no-producción entre partos	meses
Intervalo entre el parto y la preñez (concepción)	días
Mortalidad de terneros (nacimiento-destete)	%
Mortalidad entre destete y peso del primer apareamiento	%
Mortalidad entre primer apareamiento y parto	%
Mortalidad de animales adultos	%
Número de abortos por año (incluye natimueertos)	abortos/año
Terneras que pesan menos que el grupo normal de apareamiento	vaquillas jóvenes
Peso aceptable al servicio	kg
Peso ternero al destete	kg
Días de lactancia	días
Peso al nacer	kg
Considerar probabilidad de eventos del ciclo productivo y reproductivo.	
Manejo de pasturas	
Carga animal de la finca	UA/ha
Area de potreros	ha
Número de potreros de pastoreo por vacas en producción, secas, novillas	N
Tasa de crecimiento del forraje	kg MS/ha por día
Alimentación	
Materia seca disponible por ciclo de pastoreo	kg MS/ha
Porcentaje de digestibilidad de la materia seca	%
Energía de la materia seca (bruta, digestible, neta)	Mcal/kg
Materia seca residual	kg/ha
Energía en suplementos	Mcal/kg MS
Proteína en suplementos	%
Composición mineral (Ca, P, otros)	%; mg/kg
Producción	
Producción de leche por lactancia	kg
Producción de leche por vaca por año	lt/vaca por año
Producción total de leche al año	lt/año
Peso promedio de vacas desechadas	kg
Tasa de crecimiento de nacimiento hasta destete	kg/día
Tasa de crecimiento de destete hasta preñez	kg/día
Peso promedio de terneros destetados para venta	kg/ternero
Peso de toretes y vaquillas para venta	kg/torete
Total vacas desecho al año	vacas/año
Peso vacas desecho	kg/vaca

Modelos Económicos de Nivel Agregado como Instrumentos de Apoyo a la Investigación Agropecuaria

L. Rivas R.*

Resumen

Se mide el impacto de la adopción de nuevas tecnologías de pasturas actualmente en desarrollo por parte del Programa de Forrajes Tropicales del CIAT y de las instituciones nacionales de investigación de América Latina.

En las primeras secciones del trabajo se ilustra la necesidad de priorizar entre las distintas opciones de investigación, como resultado de la creciente escasez de recursos financieros para actividades de investigación y desarrollo de tecnologías agropecuarias.

Para ilustrar el empleo de modelos de nivel agregado como herramientas de apoyo para la investigación agropecuaria, se presentan los resultados de la evaluación ex-ante en América Latina tropical de las tecnologías actualmente en desarrollo en el Programa de Forrajes Tropicales del CIAT. Las tecnologías evaluadas fueron: (1) Pasturas de sólo *Brachiaria*, mejoradas por resistencia a salivazo. (2) Pasturas asociadas con *A. pintoi*. (3) Pasturas asociadas con *Stylosanthes*. (4) Pasturas asociadas con *Centrosema* y *Desmodium*. (5) Sistemas asociados de pasturas y cultivos. (6) Sistemas basados en mezclas de leguminosas. (7) Sistemas intensivos que incluyen gramíneas, leguminosas herbáceas y arbustivas y cultivos. Las anteriores tecnologías se evaluaron en los tres grandes agroecosistemas de la subregión: sabanas, márgenes de bosque y zonas de ladera.

Para la evaluación se empleó un modelo económico desarrollado en el CIAT, denominado MODEXC, el cual permite cuantificar los beneficios sociales, tanto para productores como para consumidores, resultantes de la adopción de las nuevas tecnologías de pasturas. Conociendo los beneficios sociales y las inversiones en el desarrollo de las tecnologías, es posible estimar indicadores de rentabilidad social como valor presente neto (VPN) y tasa interna de retorno (TIR). El modelo simula la evolución en el tiempo de los mercados de carne y de leche en América Latina tropical. El efecto de las nuevas

* Economista, MSc., Asociado de Investigación de la Unidad de Evaluación de Impacto, CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

tecnologías sobre estos mercados es un desplazamiento progresivo de la función de oferta a medida que avanza el proceso de difusión.

Para "correr" el modelo se requiere de información de tipo técnico relacionada con la productividad de las nuevas tecnologías, con las áreas susceptibles de impacto y con el proceso de adopción. La información económica permite caracterizar los mercados afectados por el cambio técnico. Como se trata de una evaluación *ex-ante*, es decir de procesos que aún no han ocurrido, está basada en supuestos sobre aspectos técnicos, los cuales provienen de informantes altamente calificados. La información económica proviene de numerosos estudios de varios países, los cuales caracterizan los mercados de carne y de leche en la subregión.

Los resultados obtenidos en este estudio indican que la inversión en el desarrollo de nuevas opciones de pasturas en América Latina tropical es altamente rentable desde el punto de vista social. El valor presente de los beneficios sociales netos para el período 1994-2029 se acerca a los US\$4 billones. Tales beneficios se concentran principalmente en los consumidores quienes recibirían más del 80% de los beneficios totales. La tasa interna real de retorno social de los fondos invertidos en el desarrollo de las tecnologías evaluadas se sitúa en 55% anual, la cual aparece como muy aceptable, si se la compara con el costo de oportunidad real de los recursos públicos que está alrededor del 10%.

Introducción

Se reconoce que la tecnología agropecuaria es un poderoso instrumento para acelerar el crecimiento económico, no sólo en el sector agropecuario sino también en otros sectores de la economía. El proceso de desarrollo de nuevas tecnologías agrícolas es altamente complejo, ya que involucra múltiples variables relacionadas con la disponibilidad y calidad de recursos productivos, con el medio ambiente y los recursos naturales y con factores de naturaleza social y económica. Estas variables interactúan entre sí; por tanto, en el proceso de diseño de nuevas tecnologías agropecuarias es necesario considerarlas en su conjunto y no aisladas o separadas unas de otras.

El investigador en el área agropecuaria enfrenta una realidad muy compleja y cambiante que, en muchas ocasiones, es difícil de entender e identificar debido a las múltiples interrelaciones entre las diferentes variables involucradas en el proceso de producción.

Por otra parte, los recursos asignados para investigación agropecuaria son escasos y tienden a reducirse cada vez más. Por esta razón, para el diseño de los programas de investigación y para la evaluación de sus resultados, es necesario analizar las alternativas dentro de un contexto global que incluya los diversos aspectos técnicos, ambientales y socioeconómicos. Para este propósito se utiliza con frecuencia la modelación matemática que ayuda a describir, entender y cuantificar los efectos biológico, económico y social de las diversas tecnologías de producción agropecuaria.

El modelo es simplemente una abstracción de la realidad —una simplificación de la realidad— que permite tener idea sobre su funcionamiento y sus cambios ante variaciones de algunos factores que la determinan. No se puede esperar que el modelo reproduzca exactamente la realidad, pero si medimos la bondad de los modelos en función de su capacidad predictiva.

En la construcción de los modelos se parte de observaciones que permiten formular hipótesis, las cuales se expresan, posteriormente, en forma matemática. El conjunto de relaciones matemáticas que integran el modelo constituyen lo que se denomina su estructura. Se trata de una colección de elementos que están interrelacionados y que interactúan unos con otros. Dicha estructura está integrada por componentes que expresan los diferentes tópicos incluidos en los modelos, bien sean biológicos, económicos o sociales.

En el caso de la investigación agropecuaria se construyen modelos a diferentes niveles de agregación: parcela, finca, cuenca, región y país. El nivel de agregación depende del problema específico que se pretenda estudiar. En el pasado, la mayor parte de los modelos empleados en investigación agropecuaria eran esencialmente de carácter biológico; en la actualidad es más frecuente el desarrollo de modelos más completos que involucran componentes económicos, sociales y ambientales.

Lo anterior refleja explícitamente el reconocimiento que para la exitosa adopción y difusión, las nuevas tecnologías no sólo deben ser eficientes y apropiadas desde el punto de vista biológico, sino que también lo deben ser desde la perspectiva socioeconómica y ambiental.

Los diferentes grados de agregación de los modelos ocurren debido a la necesidad de estudiar la eficiencia de las nuevas tecnologías a diferentes niveles, entre ellos, a nivel de finca y de tipo de finca; y a nivel de sistema de producción, de región y de país.

Para que una tecnología nueva tenga altas probabilidades de adopción debe superar técnicamente a las tecnologías tradicionales y, además, ser rentable y viable para los productores, es decir que, desde el punto de vista privado, sea atractiva económicamente. Adicionalmente, beneficios esperados deben ser lo

suficientemente altos como para compensar los posibles mayores riesgos biológicos y/o económicos, asociados con las nuevas alternativas de producción.

Los recursos para investigación agropecuaria provienen en una alta proporción de fondos públicos muy escasos; la sociedad en su conjunto financia gran parte de las actividades de investigación. Como resultado, es importante que las alternativas tecnológicas sean rentables y viables desde el punto de vista social. Por ejemplo, una nueva técnica puede ser viable y rentable para el productor, pero puede presentar efectos muy negativos sobre la capacidad productiva de los recursos naturales a largo plazo. La pregunta es: ¿Debe la sociedad financiar este tipo de investigación? O por el contrario, puede ser que una alternativa sea poco atractiva para los productores por su baja rentabilidad, pero tiene un impacto positivo muy grande sobre la producción global, el empleo y el medio ambiente, caso en el cual el alto beneficio social de tal tecnología justificaría crear instrumentos de política económica, para hacerla atractiva y que los agricultores los incorporen a los sistemas de producción.

También es necesario establecer entre qué grupos sociales se distribuyen los beneficios esperados del cambio técnico, por ejemplo, ¿qué proporción de los beneficios correspondería a productores pequeños y/o a los consumidores pobres? Este es un aspecto crucial al considerar en qué grado las nuevas tecnologías ayudan al logro de metas sociales para mejorar la equidad y combatir la pobreza.

Para responder las anteriores preguntas se evalúa el posible impacto de las nuevas tecnologías, utilizando modelos a diferentes niveles de agregación. La necesidad de modelos para evaluar y definir prioridades de investigación se hace más evidente en la medida en que los fondos para investigación se hacen más escasos. Según ILCA (1978), el desarrollo de un modelo involucra las etapas siguientes: (1) definición del problema, (2) formulación cuantitativa,

(3) verificación, (4) validación, (5) experimentación, y (6) análisis de resultados.

En la definición del problema se fijan los límites del sistema que se está modelando, es decir, las relaciones y las variables involucradas en el sistema y el nivel al cual se modela, que puede ser animal, rebaño, finca o región. La formulación cuantitativa se refiere a la representación matemática, la cual refleja el conocimiento disponible con respecto a las variables y componentes del modelos y sus interrelaciones. La verificación implica asegurar que lo expresado en el modelo corresponde a lo que se pretende. En la verificación se opera el modelo en un amplio rango de variables consideradas clave, para determinar si los resultados del modelo son consistentes. La validación se refiere a la comparación de los resultados obtenidos con el modelo con los logrados en el campo experimental y en el mundo real. En la verificación y la validación, el modelo se emplea para

determinar el desempeño del sistema bajo diferentes condiciones.

La Figura 1 muestra los niveles de agregación en los trabajos de evaluación de la adopción y el impacto de las nuevas tecnologías de pasturas. La nueva tecnología generada en la estación experimental se emplea a nivel de finca o unidad productiva, si es viable y rentable. Lo anterior significa que es necesario elaborar modelos a nivel de finca para estimar indicadores de rentabilidad y viabilidad. Estos modelos de finca corresponden a las condiciones específicas de recursos productivos, manejo, medio ambiente, estrato de tamaño de finca y/o sistema de producción.

Para estimar indicadores de rentabilidad y viabilidad, los modelos a nivel de finca o nivel micro deben evaluar los cambios en producción, productividad, empleo, uso de recursos y variaciones en las actividades productivas, ocurridos por el empleo de las nuevas alternativas de producción.

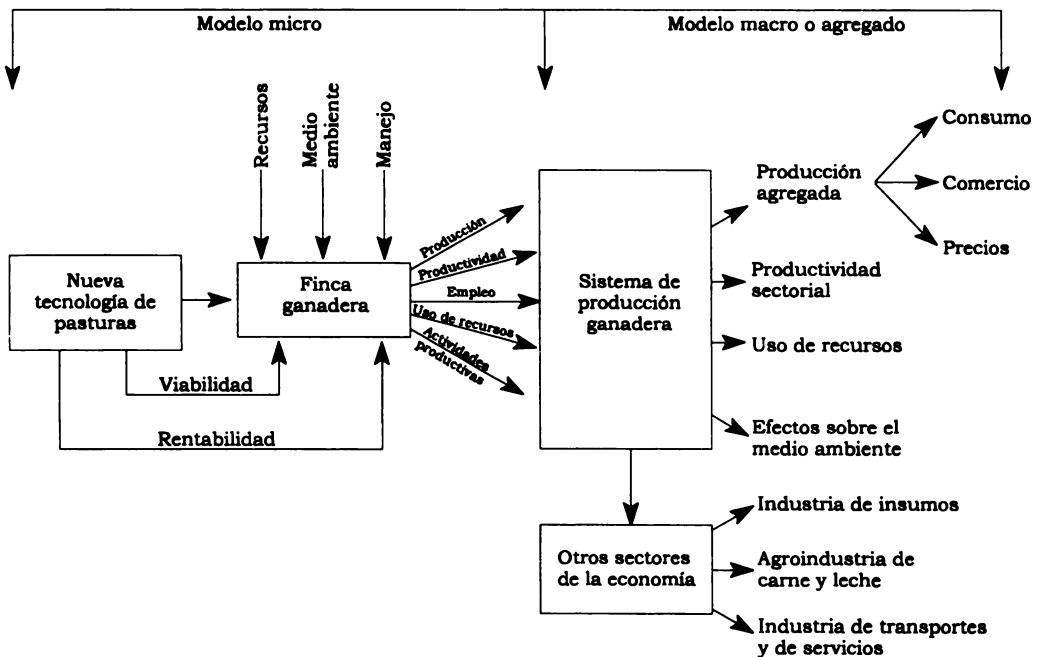


Figura 1. Modelos de tecnologías de pasturas a diferentes niveles de agregación.

La rentabilidad se refiere a las ventajas económicas de las nuevas tecnologías en relación con las tradicionales y se expresa en términos de indicadores, tales como tasa interna de retorno (TIR), valor presente neto (VPN) y relación beneficio-costos (B/C). La rentabilidad indica si la nueva tecnología es atractiva desde el punto de vista económico. La viabilidad se refiere a la posibilidad técnica y económica de utilizar las nuevas alternativas. Desde el punto de vista económico, la viabilidad se relaciona con la disponibilidad en momentos oportunos de los recursos financieros para efectuar las inversiones y los gastos que demanda el uso de las nuevas tecnologías. La distribución y el nivel del flujo de los ingresos netos asociados con el uso de la tecnología, permiten analizar su viabilidad económica. La viabilidad técnica se refiere a la disponibilidad de los conocimientos, insumos, equipos necesarios para el empleo de las nuevas opciones de producción. En resumen, los indicadores de rentabilidad señalan si la tecnología y los indicadores de viabilidad se pueden adoptar.

Los modelos micro sirven para evaluar y analizar el impacto de las nuevas técnicas en el contexto del productor individual. No obstante, como ya se mencionó, existe un impacto agregado a nivel del sistema de producción o de la industria ganadera, que se manifiesta en incrementos de la producción u oferta total, cambios en el promedio de productividad del sector o la industria y en el uso de recursos productivos a nivel de zona o región, y efectos en el ambiente y sobre los recursos naturales. A la vez, los aumentos en la oferta determinan reducciones en los precios reales al consumidor, lo cual afecta los niveles de consumo y los flujos de comercio (exportaciones-importaciones) y la nutrición humana.

Los cambios que ocurren en el sector ganadero afectan a otros sectores de la economía con los cuales tiene vínculos, como las industrias productoras de semilla y de maquinaria, la agroindustria procesadora y transformadora de carne y de leche, y los sectores de servicios y de transporte.

En otras palabras, el cambio tecnológico en la ganadería puede afectar indirectamente a otros sectores, produciendo un efecto dinamizante sobre la economía en general, conocido en la literatura económica como efectos de encadenamientos y de externalidades.

Los modelos de evaluación de nivel agregado miden total o parcialmente los anteriores efectos, con el propósito de identificar las tecnologías con el mayor impacto potencial agregado y justificar y atraer fondos públicos para actividades de investigación y de transferencia de tecnología.

Es necesario señalar que en el pasado en el proceso de generación de tecnologías se elaboraba una cuidadosa evaluación técnica de las nuevas opciones, desde el punto de vista de producción y productividad; con el transcurso del tiempo, el marco de referencia para la evaluación se ha ampliado, dándole mayor énfasis a las evaluaciones de tipo económico social y ambiental.

En la investigación agropecuaria, el enfoque de evaluación basado en modelos matemáticos es un complemento a la investigación biológica tradicional, que ayuda a identificar aquellas áreas donde la investigación podría ser más exitosa desde la perspectiva de su adopción e impacto. Generalmente en la evaluación económica de nuevas tecnologías se parte de las evaluaciones a nivel micro —el animal, la parcela, la finca. Con estas evaluaciones se persigue conocer la bondad económica de las tecnologías en desarrollo. El análisis micro ayuda a definir prioridades al identificar las alternativas con mayor potencial económico bajo diferentes situaciones, tal como se demuestra en el trabajo de Hollmann y Estrada, presentado en esta reunión. Este tipo de estudio ayuda a orientar la investigación, ya que con él se identifican las opciones tecnológicas promisorias, desde el punto de vista económico y las condiciones bajo las cuales pueden o no ser atractivas.

Una vez elaboradas las evaluaciones micro se busca conocer el efecto de tales tecnologías a una escala mayor, que puede ser una cuenca, la región o el país. Esta clase de evaluaciones a nivel más agregado responde a preguntas como: ¿Cuál será el efecto de las nuevas tecnologías sobre la producción total, el consumo, el empleo, los precios, el comercio, la equidad social, los recursos naturales y otros sectores de la economía?

La respuesta a las anteriores preguntas es importante para justificar el uso de fondos públicos en actividades de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías agropecuarias. Es esencial que las nuevas técnicas de producción no sólo sean atractivas para los productores, sino que además la sociedad en conjunto perciba un alto retorno por los fondos que invierte en investigación.

Las evaluaciones económicas a nivel agregado no sólo son útiles para suministrar elementos de juicio para el establecimiento de prioridades de investigación, sino que además aportan información que retroalimenta los sistemas de investigación y transferencia de tecnología y permiten mejorar su eficiencia.

Modelo de Excedentes Económicos

El modelo de excedentes económicos (MODEXC) fue desarrollado en el CIAT como una herramienta para apoyar la priorización de las actividades de investigación. En este contexto, los excedentes económicos corresponden a los beneficios que recibirían los productores y consumidores, como consecuencia de la adopción de nuevas tecnologías; en este caso, tecnologías de pasturas mejoradas desarrolladas mediante un esfuerzo colaborativo del CIAT y las agencias de investigación de los países latinoamericanos.

El modelo evalúa el efecto de la adopción de nuevas tecnologías forrajeras sobre los

mercados de carne y leche en América Latina tropical en conjunto. Si la tecnología se adopta, los efectos de tal adopción se reflejan en los mercados de bienes finales producidos por la ganadería de carne y leche. Los efectos directos más evidentes de la adopción son: (1) el incremento del volumen de producción, (2) la reducción de precios reales a los consumidores, y (3) la reducción de los costos unitarios de producción.

Cuando se trata de reducciones de precios reales a nivel de consumidor aparece, de manera intuitiva, la idea de que quienes se benefician exclusivamente del cambio tecnológico son los consumidores en desmedro de los productores. Lo anterior no es necesariamente cierto; depende de la naturaleza específica del mercado que se analiza y, en especial, de la demanda de ese mercado.

Lo anterior se ilustra en la Figura 2, donde aparecen dos mercados cuyas demandas tienen características extremas. Los mercados están definidos por las curvas de oferta (S) y de demanda (D). En la Figura 2A, la demanda es infinitamente elástica, o sea, que todas las cantidades adicionales que se producen se venden sin que el precio se reduzca. Esta situación se presenta en una economía totalmente abierta, en la cual el precio doméstico y el precio internacional son iguales. Los excedentes de producción se comercializan en el mercado externo al precio internacional. En una situación como ésta, el beneficio del cambio técnico se concentra exclusivamente en los productores —área MOO¹ en la misma Figura— sin que los consumidores se beneficien al no bajar los precios en el mercado.

La Figura 2B ilustra el caso contrario, donde la demanda de mercado es absolutamente inelástica. En este caso, se trata de un mercado saturado —los niveles de consumo son ya tan altos que, por más que se reduzca el precio, no aumenta el consumo— en una economía completamente cerrada. En este caso, los beneficios del cambio tecnológico —área

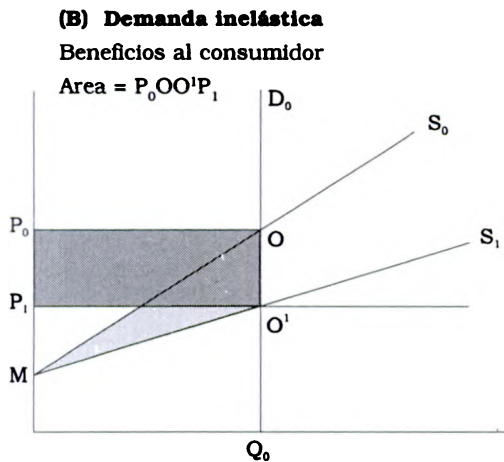
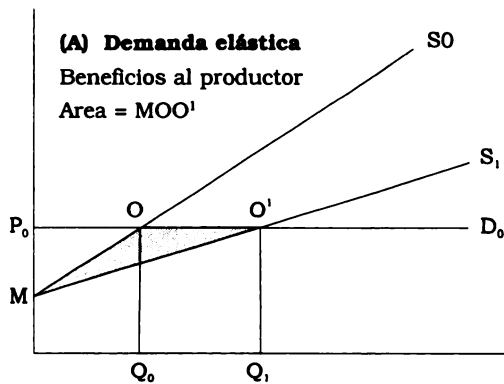


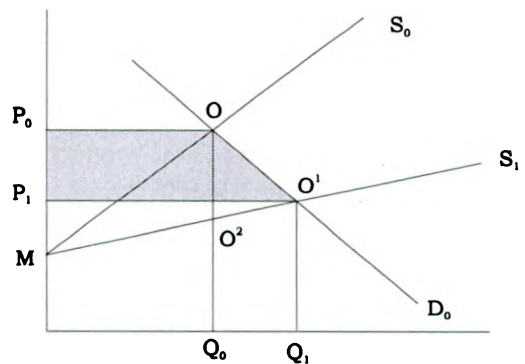
Figura 2. Distribución de los beneficios de la tecnología en diferentes situaciones de mercado.

$P_1P_0O^1$ — se concentran en los consumidores, quienes siguen comprando las mismas cantidades (Q_0) a precios menores.

En la Figura 3 se presenta, en forma esquemática, una situación intermedia entre las dos situaciones extremas anteriores. La curva de oferta (S_0) está reflejando la tecnología de producción tradicional existente antes del cambio tecnológico. En ausencia del cambio tecnológico, el mercado se encuentra en situación de equilibrio con un nivel de producción Q_0 y un precio de equilibrio P_0 . La nueva tecnología de producción aumenta

(A) Beneficios al consumidor

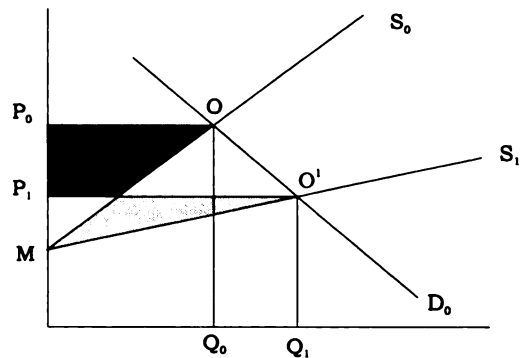
Area = $P_0O^1P_1$



(B) Beneficios al productor

Area: MdO^1 = productividad

Area: P_1P_0Od = reducción de precios



(C) Beneficio social

Consumidores + productores

Area = MOO^1

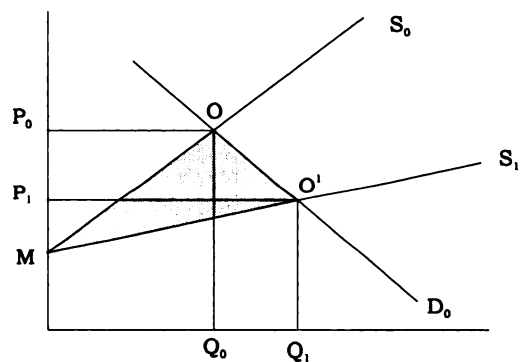


Figura 3. Beneficios sociales de la investigación agropecuaria.

la oferta, desplazando la función de oferta desde la posición S_0 hasta la posición S_1 . El nuevo punto de equilibrio corresponde a un volumen de producción Q_1 y un precio de equilibrio P_1 .

Las consecuencias del cambio tecnológico son: (1) aumenta el volumen de producción de Q_0 a Q_1 , (2) se reduce el precio de mercado de P_0 a P_1 y (3) aumenta la eficiencia productiva al bajar los costos marginales de producción. Según la teoría económica, la curva de oferta corresponde en su segmento creciente al costo marginal de producción. En la Figura 3A se puede notar que el costo marginal para el volumen de producción Q_0 corresponde a la línea OQ_0 , en tanto que con la nueva tecnología el costo marginal para la misma cantidad Q_0 se reduce a O^2Q_0 . Los consumidores, en este de caso carne y/o de leche, se benefician al consumir mayores cantidades a precios reales de mercado menores. Los beneficios recibidos por los consumidores se visualizan en la Figura 3A en el área sombreada $P_0OQ_1P_1$.

En la Figura 3B aparecen los beneficios al productor en el área MdO^1 , la cual refleja el incremento de productividad; sin embargo, debido a que los precios se reducen, los productores pierden el área P_1P_0Od . El valor neto entre las dos áreas anteriores constituye el beneficio neto capturado por los productores. Es necesario anotar que no todos los productores se benefician del cambio tecnológico, ya que quienes no adoptan y continúan produciendo bajo los esquemas tradicionales sin reducir costos unitarios, reciben todo el impacto negativo de la reducción de los precios y terminan siendo perdedores netos. En la medida en que la demanda de mercado sea más inelástica con respecto al precio, mayores son las probabilidades de que los beneficios del cambio técnico se concentren en los consumidores.

En la Figura 3C se muestra el beneficio social total representado por el área MOO^1 , la cual está constituida por la suma aritmética de los beneficios de los productores y los consumidores.

El modelo económico

En el presente estudio se presenta un ejemplo del uso de un modelo agregado de evaluación económica para el caso de las pasturas, el cual permite cuantificar el potencial económico de varias tecnologías en función de los beneficios directos que recibirían los productores y los consumidores y el retorno social de las inversiones en el desarrollo de las mismas.

El modelo económico es simplemente una herramienta para el cálculo del valor monetario de las áreas anteriormente descritas. Simula la evolución de los mercados de carne y leche en América Latina tropical, cuando se adoptan diferentes tecnologías de pasturas en los tres grandes agroecosistemas de sabanas, márgenes de bosque y zonas de laderas. Estas tecnologías están siendo desarrolladas conjuntamente por el Programa de Forrajes Tropicales del CIAT y las agencias nacionales de investigación de la región.

Se trata de una evaluación ex-ante, ya que las tecnologías aún se encuentran en desarrollo o en etapas muy incipientes de adopción y, en consecuencia, se basan en supuestos, que se requiere sean lo más razonables posible. El ejercicio pretende: (1) cuantificar los beneficios sociales resultantes de la adopción de estas tecnologías para definir un orden de prioridades; (2) identificar los beneficios sociales atribuibles individualmente a cada una de ellas y estimar indicadores de rentabilidad social de las inversiones efectuadas para el desarrollo de tales tecnologías; (3) conocer la distribución de los beneficios entre grupos sociales de productores y consumidores y, entre subgrupos de productores pequeños y consumidores pobres.

La información económica define al mercado en equilibrio antes de producirse el cambio tecnológico en términos de una función de oferta (S_0) y una de demanda (D_0), lo cual matemáticamente se expresa como un sistema de ecuaciones simultáneas de la forma siguiente:

$$D_0 = \beta P^\alpha \quad (1)$$

$$S_0 = CK (P-M)^d \quad (2)$$

$$D_0 = S_0 \quad (3)$$

donde:

D_0 = es la cantidad demandada en el mercado, S_0 = es la cantidad ofrecida, P = es el precio de mercado, α y d = son constantes, que corresponden a las elasticidades precio de demanda y de oferta, respectivamente¹, β y M = son los interceptos de las curvas de demanda y oferta, sobre el eje Y o eje de precios. La constante M = corresponde también al precio mínimo de oferta, y K = funciona como el factor de desplazamiento de la oferta, debido al cambio tecnológico, y su valor es variable en el tiempo, según la dinámica del proceso de adopción².

El proceso de adopción es simulado en el modelo, asumiendo que la constante tecnológica K se distribuye o toma valores en el transcurso del tiempo según un patrón logístico o sigmoide, el cual reproduce las diferentes etapas del proceso de adopción—temprana, consolidada y terminal.

Información técnica y económica

El modelo para su funcionamiento utiliza información técnica y económica. La primera caracteriza la nueva tecnología en evaluación en términos de: (1) la magnitud de las áreas que se impactarán con la nueva tecnología, (2) los incrementos en productividad física en relación con las tecnologías tradicionales, (3) los cambios en la capacidad de carga animal, (4) la probabilidad de éxito en el proceso de adopción, (5) la duración del periodo de

difusión, y (5) el año de lanzamiento de las nuevas tecnologías.

En el ejercicio se evaluaron 24 tecnologías en tres agroecosistemas de América Latina tropical y en dos actividades ganaderas, doble propósito y engorde o ceba. Para efectuar las "corridas" o desarrollar el programa MODEXC se empleó información relacionada con las tecnologías evaluadas y proveniente del consenso de un grupo de científicos del Programa de Forrajes Tropicales del CIAT, quienes por su experiencia y conocimientos sobre las nuevas tecnologías y las condiciones de producción y productividad de la ganadería regional, poseen suficientes elementos de juicio para hacer estimativos razonables sobre los parámetros técnicos que se utilizaron. En todos los casos se adoptó una actitud conservadora en relación con el valor de los parámetros. En los Cuadros 1 a 3 se incluyen los parámetros técnicos utilizados para los tres grandes agroecosistemas considerados.

La información económica se relaciona con la situación del mercado antes de producirse el cambio tecnológico en términos de cantidad de producto comprada y vendida (Q_o, Q_d), precio de equilibrio de mercado (P), elasticidad precio de oferta (E), elasticidad precio de demanda (N), precio mínimo de oferta (M), y tasas anuales de crecimiento de la oferta y de la demanda. En el Cuadro 4 se incluyen los parámetros económicos utilizados, los cuales resultaron de una extensa revisión de estudios económicos de la ganadería regional.

Resultados

El modelo permitió evaluar el beneficio social atribuible a cada una de las tecnologías, desagregando entre productores y consumidores, sistemas de producción y zonas agroecológicas. El modelo simula el proceso de adopción y utiliza un horizonte de cálculo de 35 años (entre 1994 y 2029) para estimar los beneficios netos anuales. Una vez estimados los beneficios sociales asociados con el cambio tecnológico y

1. En sentido estricto, d es un parámetro que se estima a partir de la elasticidad precio de oferta.
2. Para mayor información sobre el modelo y su operación, ver: Rivas et al. (1990) y Rivas y Pachico (1994).

Cuadro 1. Parámetros técnicos para los proyectos del Programa de Forrajes Tropicales en el agroecosistema de sabanas.

Proyecto y sistema	Producto	Carga animal (UA/ha)	Productividad esperada/ha (kg. lt)	Area potencial ^a (ha x 10 ³)	Probabilidad de éxito (%)	Disponibilidad ^b (año)	Difusión ^c (años)
<i>Brachiaria</i> mejorada							
Ceba	Carne	1.5	200	9.0	95	2000	27
D.D ^d	Carne	1.4	132	3.2	80	2000	25
	Leche		1300				
Gram. + <i>Arachis</i>							
Ceba	Carne	3.0	400	4.0	60	2001	30
D.D	Carne	2.2	280	1.5	60	2001	25
	Leche		2400				
Gram. + stylo							
Ceba	Carne	2.0	300	3.5	80	2002	30
D.D	Carne	1.5	200	0.9	80	2002	25
	Leche		1600				
Gram. + centro o desmodium							
Ceba	Carne	2.0	300	2.4	60	2002	30
D.D	Carne	1.5	200	0.9	30	2002	25
	Leche		1800				
<i>Brachiaria</i> tradicional							
Ceba	Carne	1.0	110	—	—	—	—
D.D	Carne	1.0	78	—	—	—	—
	Leche		900	—	—	—	—

a. Área potencialmente apta para siembra.

b. Año en el que estará disponible la tecnología.

c. Años que tardará la difusión de la tecnología.

d. Sistema de doble propósito.

Cuadro 2. Parámetros técnicos para los proyectos del Programa de Forrajes Tropicales en el agroecosistema márgenes de bosque.

Proyecto y sistema	Producto	Carga animal (UA/ha)	Productividad esperada/ha (kg. lt)	Área potencial ^a (ha x 10 ³)	Probabilidad de éxito (%)	Disponibilidad ^b (año)	Difusión ^c (años)
<i>Brachytaria mejorada</i>							
Ceba	Carne	1.5	225	7.2	0.7	2000	27
D.D ^d	Carne	1.5	105	2.5	0.8	2000	25
	Leche		1300				
<i>Gram. + Arachis</i>							
Ceba	Carne	3.0	480	4.9	0.8	2001	25
D.D	Carne	2.5	320	1.5	0.8	2001	25
	Leche		2600				
<i>Gram. + stylo</i>							
Ceba	Carne	2.0	300	2.5	0.5	2002	30
D.D	Carne	1.5	120	1.5	0.5	2002	25
	Leche		1600				
<i>Gram. + centro o desmodium</i>							
Ceba	Carne	2.0	300	2.5	0.6	2002	30
D.D	Carne	1.5	190	0.6	0.6	2002	25
	Leche		1600				
<i>Pastura-cultivo</i>							
Ceba	Carne	3.0	500	2.0	0.95	2000	27
D.D	Carne	2.5	300	1.0	0.7	2000	25
	Leche		2500				
<i>Brachytaria tradicional</i>							
Ceba	Carne	1.5	127	—	—	—	—
D.D	Carne	1.0	90				
	Leche		847	—	—	—	—

- a. Área potencialmente apta para siembra.
b. Año en el que estará disponible la tecnología.
c. Años que tardará la difusión de la tecnología.
d. Sistema de doble propósito.

Cuadro 3. Parámetros técnicos para los proyectos del Programa de Forrajes Tropicales en zonas de laderra.

Proyecto y sistema	Producto	Carga animal (UA/ha)	Productividad esperada/ha (kg. lt)	Area potencial ^a (ha x 10 ³)	Probabilidad de éxito (%)	Disponibilidad ^b (año)	Difusión ^c (años)
<i>Brachiaria</i> mejorada							
D.D ^d	Carne	1.5	150	1.8	80	2000	25
	Leche		1500				
Gram. + <i>Arachis</i>							
D.D	Carne	2.0	210	2.0	50	2001	25
	Leche		2100				
Gram. + leg.							
D.D	Carne	1.5	140	1.5	50	2002	25
	Leche		1500				
Pastura-cultivo							
D.D	Carne	2.5	140	2.0	80	2002	25
	Leche		2000				
<i>Brachiaria</i> tradicional							
D.D	Carne	0.9	94	—	—	—	—
	Leche		730	—	—	—	—

a. Area potencialmente apta para siembra.

b. Año en el que estará disponible la tecnología.

c. Años que tardará la difusión de la tecnología.

d. Sistema de doble propósito.

Cuadro 4. Parámetros económicos usados en el modelo MODEXC para estimar los beneficios sociales del Programa de Forrajes Tropicales del CIAT en América Latina tropical.

Parámetros	Carne	Leche
Precio inicial (US\$/t)	1490	300
Costo mínimo de producción (US\$/t)	500	100
Tasa anual de crecimiento:		
de la demanda (%)	2.2	2.2
autónomo de la oferta (%)	1.8	1.9
Elasticidad precio de la:		
demanda	-0.7	-0.8
oferta	0.5	0.7
Período de difusión de las nuevas tecnologías (años)	25-30	25-30
Valor de K	1.70	1.54

conociendo las inversiones anuales en investigación y desarrollo de tales tecnologías, es posible elaborar estimativos de la rentabilidad social de dicha inversión, los cuales se expresan términos TIR y de VPN.

Debido a que las tecnologías evaluadas son el producto de un esfuerzo conjunto de muchas instituciones, no es justo atribuir todos los beneficios a una sola de ellas. En este caso se decidió que sólo el 50% de los beneficios sociales totales era atribuible a las inversiones en investigación efectuadas por el Programa de Forrajes Tropicales.

En el Cuadro 5 se presentan el VPN y la TIR atribuibles a cada tecnología individualmente. El VPN de los beneficios atribuibles al Programa de Forrajes para el período de análisis se estimó en US\$4 billones, lo cual representa una tasa interna social de retorno de las inversiones de 55%. La cifra de US\$4 billones aparentemente es muy alta; sin embargo, se debe considerar que el sector ganadero en América Latina tropical es muy importante, tanto por el volumen de producción como por la magnitud de recursos que utiliza. Según la FAO, en 1995 la producción total de carne en canal en la región fue de 8.1 millones de toneladas con un valor aproximado de US\$10.6 billones, mientras que la producción de leche en ese mismo

año llegó a 38.3 millones de toneladas de leche entera líquida con un valor aproximado de US\$11.5 billones. Es decir, en un solo año el valor de la producción bruta del sector ganadero de América Latina tropical sobrepasó los US\$22 billones³. Todas las alternativas evaluadas presentan alto impacto potencial con $VPN > 0$, y $TIR >$ que la tasa de oportunidad real de mercado, la cual está alrededor del 10%.

De las alternativas en desarrollo, la de pasturas basadas en *Arachis pinto* es la que presenta un mayor impacto potencial en términos VPN (US\$1.2 billones), seguida de la tecnología de *Brachiaria* mejorada que es resistente al salvazo (*Aeneolamia* sp.) con US\$1 billón.

Este ejercicio es importante porque proporciona criterios para agrupar o clasificar las tecnologías, lo que permite definir prioridades de investigación. En el Cuadro 6 se muestran los proyectos evaluados en orden de prioridad. En situaciones de restricciones presupuestales como las actuales, la priorización es esencial para optimizar el uso de los recursos.

3. Se asume un precio de US\$1300/TM de carne en cana¹ y de US\$300/TM de leche líquida entera. Los datos se refieren a América Latina en conjunto, excluyendo Argentina, Chile y Uruguay.

Cuadro 5. Indicadores de los beneficios sociales atribuibles a las tecnologías-CIAT, derivados del uso de nuevas pasturas para la producción de carne y leche en América Latina tropical. 1994-2029.

Pastura	VPN esperado (US\$ millones, de 1994) ^a		TIR (%)	
	CAI ^b	SAI ^c	CAI	SAI
<i>Brachiaria</i>	1014	766	50.4	43.4
Gram. + <i>Arachis</i>	1228	924	61.5	53.6
Gram. + stylo	313	235	46.6	43.1
Gram. + centro/desmodium	247	185	49.0	42.7
Pasturas-cultivo	1023	772	84.3	73.6
Gram. + leg.	11	8	1121.9	19.3
Pasturas/cultivos/leg. multipropósito	211	164	50.2	44.4
Sólo gram.	1014	766	50.4	43.4
Pasturas de leg.	1795	1348	51.4	44.7
Pasturas/cultivo	1234	936	71.9	62.5
Total (PFT)	4046	3053	55.3	48.4
VPN del apoyo institucional	903 ^c	—	71.8	—

a. Excluyendo US\$90 millones que se atribuyen a sabanas.

b. Con apoyo institucional.

c. Sin apoyo institucional.

Cuadro 6. Orden de prioridades de los proyectos del Programa de Forrajes Tropicales, según el criterio VPN esperado.

Proyecto	Variación del VPN esperado (rango en US\$ millones)	Variación de la TIR (rango en %)
1. Pasturas de <i>Arachis</i>		
Sistemas pasturas-cultivos		
Pasturas de <i>Brachiaria</i>	1014-1028	50-85
2. Desarrollo institucional	903	71.8
3. Sistemas basados en stylo		
Sistemas basados en centro y desmodium		
Sistemas mixtos pasturas-cultivos-leguminosas	164-235	48-50
4. Sistemas basados en mezclas de leguminosas	11	21.9

En el Cuadro 7 se presentan los beneficios sociales esperados, según los agroecosistemas y el tipo de tecnología. Se encontró que en las sabanas, el mayor beneficio potencial está dado por las tecnologías de pasturas y cultivos asociados y de brachiarias mejoradas resistentes a salivazo. Estas dos tecnologías contabilizan casi el 60% del beneficio social estimado para las sabanas.

En las zonas de márgenes de bosque, la opción más promisoría, desde el punto de

vista de los beneficios sociales esperados, son las pasturas basadas en *A. pintoi*, donde casi el 40% de los beneficios provienen de esta tecnología. Para áreas de ladera, los sistemas más intensivos que involucran gramíneas, leguminosas y cultivos en asociación aparecen como la opción de mayor beneficio potencial (Cuadro 7).

En este estudio se analizó el tema de la equidad social asociada con el uso de pasturas mejoradas en América Latina

Cuadro 7. Valor presente neto (VPN) esperado de los excedentes de la producción de leche, según diferentes tecnologías y ecosistemas en América Latina tropical. En US\$ millones de 1994.

Pastura	Sabanas	Márgenes de bosque	Laderas	Total	Porcentaje
<i>Brachiaria sola</i>	499	379	135	1014	25.0
Basadas en <i>Arachis</i>	371	661	196	1228	30.3
Basadas en <i>stylo</i>	182	131	—	313	7.7
Basadas en centro y <i>desmodium</i>	151	96	—	247	6.1
Gram. + leg. asociadas con cultivos	509	515	—	1023	25.3
Basadas en mezclas de leg.	—	—	11	11	0.3
Mixtas de gram. + leg. multipropósito con cultivos	—	—	211	211	5.2
Total	1712	1782	553	4047	100.0

tropical, con el propósito de responder interrogantes como: ¿Qué grupos sociales se benefician con el cambio tecnológico? ¿Quiénes se benefician en mayor grado: los productores o los consumidores? ¿Cuál es el beneficio que reciben los grupos sociales más marginados: los productores pequeños y los consumidores pobres?

Debido a que el modelo permite desagregar los beneficios totales entre productores y consumidores, se encontró que el grueso de los beneficios totales (US\$4 billones) de los proyectos evaluados se concentra principalmente en los consumidores, quienes reciben el 87% de ellos (US\$3.5 billones).

A partir del esquema de distribución del consumo de carne y leche por estratos de ingreso y la distribución de la producción por tamaño de finca, es posible determinar la participación de los diferentes grupos sociales en los beneficios. La literatura disponible a nivel regional indica que los consumidores pertenecientes a los dos quintiles más pobres de la población, equivalente al 40% de ella, consumen el 25% de la carne vacuna disponible y el 26% de la leche, en tanto que el 26% de la producción de carne y el 50% de la de leche es generada por las pequeñas y medianas explotaciones (Sanint et al., 1985; Janssen et al., 1990).

La información anterior posibilitó la elaboración del Cuadro 8, el cual muestra que los grupos sociales de menor ingreso recibirían un total US\$2.2 billones como resultado de la adopción de las nuevas tecnologías de pasturas, los consumidores más pobres recibirían US\$1.8 billones y los productores pequeños, aproximadamente, US\$0.4 billones. En conjunto, los grupos más pobres de la población recibirían más de una cuarta parte de los beneficios sociales del cambio técnico evaluado.

El modelo económico utilizado sólo evalúa los impactos dentro del sector ganadero en términos de producción, consumo, comercio, precios, en las situaciones de mercado de economía abierta y cerrada. En el último caso, es decir suponiendo economía cerrada, en el período 1994-2029, el consumo aparente de carne por habitante en América Latina tropical se incrementaría en un 35%, pasando de 14.5 a 19.6 kg/año. En el caso de leche, el aumento del consumo por habitante sería, proporcionalmente, 39.8% mayor, pasando de 76.7 a 107 kg/año en equivalente de leche líquida.

Se debe señalar que los criterios anteriores no son los únicos para fijar prioridades. Ya se mencionó anteriormente que el impacto de las tecnologías agropecuarias tiene múltiples dimensiones

Cuadro 8. Indicadores de equidad de la nueva tecnología de pasturas en producción de carne y de leche. América Latina tropical.

Grupos de población	Valor presente esperado (US\$ millones)			Porcentaje de los beneficios totales
	Carne vacuna	Leche	Total	
Beneficios para consumidores más pobres (40% de la población)	934	898	1832	22.5
Beneficios para productores más pequeños	149	233	381	4.7
Total	1083	1131	2213	27.2

en relación con la equidad social, el crecimiento económico, la sostenibilidad de la producción y la conservación de la base de recursos naturales. En otras palabras, la evaluación de los planes y programas de investigación se debe elaborar bajo múltiples criterios, con el fin de considerar los diversos aspectos de su impacto.

El modelo utilizado es conocido en la literatura económica como de equilibrio parcial, ya que considera un solo subsector productivo, en este caso la ganadería vacuna; por lo tanto, sólo calcula los beneficios dentro del subsector. Los efectos directos e indirectos sobre otros subsectores no se calculan en este ejercicio. No obstante, para dar una idea de los beneficios indirectos es preciso indicar que en un trabajo similar al presente, Janssen et al. (1990), con supuestos más optimistas sobre las áreas a impactar y la velocidad de adopción, estimaron beneficios externos al sector ganadero. En ese estudio, con base a información de MODEXC como insumo para un modelo de equilibrio general (de varios sectores), se estimaron los efectos de encadenamiento o multiplicadores y se encontró que por cada dólar de beneficio directo en el sector ganadero, se generaban US\$0.55 de beneficios indirectos en otros sectores. El modelo en este caso estima, básicamente, la producción extra obtenida en otros sectores, como consecuencia del cambio técnico, la generación de empleo y los efectos sobre la demanda total por generación de mayores ingresos.

En todas estas evaluaciones, la parte más débil se refiere al impacto sobre los recursos naturales y el medio ambiente. En este campo existen vacíos tanto de información como de metodologías. Medir esta clase de impactos es algo complejo, ya que se trata de procesos de muy largo plazo que afectan bienes o recursos que, en muchos casos, es difícil asignarles una valoración económica porque no se transan en un mercado. Se trata, entonces, de un campo abierto a la investigación.

Conclusiones

Como consecuencia de la alta complejidad de los procesos de adopción e impacto de las nuevas tecnologías agropecuarias, se hace necesario la utilización de modelos matemáticos, los cuales permiten evaluar los efectos de la adopción a los niveles micro y macro, que suministran elementos de juicio para la fijación de prioridades de investigación. Estos modelos son herramientas útiles no sólo para la fijación de prioridades de investigación, sino también para retroalimentar los sistemas de investigación y transferencia de tecnologías.

Los modelos micro evalúan la adopción y el impacto de las tecnologías en el contexto del productor y fundamentalmente pretenden suministrar indicadores de rentabilidad y viabilidad de las nuevas tecnologías a nivel de unidad productiva. Lo anterior se debe a la condición necesaria

para lograr un impacto macro o agregado, consistente en que las nuevas tecnologías deben ser rentables y viables para los productores. No obstante, como los fondos para investigación y desarrollo de tecnologías agropecuarias provienen en una alta proporción de recursos estatales, es necesario justificar la rentabilidad social de tales inversiones. Esta rentabilidad involucra los beneficios a nivel macro o agregado, tanto en el sector donde se produjo el cambio tecnológico como en otros sectores de la economía, o sea, los efectos directos e indirectos del cambio tecnológico a nivel agregado. Es importante considerar el impacto sobre la base de los recursos naturales, ya que el objetivo social es mejorar la producción y productividad agropecuarias, pero de una forma sostenible en el largo plazo.

Los resultados obtenidos en este estudio indican que la inversión en el desarrollo de nuevas opciones de pasturas en América Latina tropical es altamente rentable desde el punto de vista social. El valor presente de los beneficios sociales netos para el periodo 1994-2029 se acerca a los US\$4 billones. Tales beneficios se concentran principalmente en los consumidores, quienes recibirían más del 80% de los beneficios totales. La tasa interna real de retorno social de los fondos invertidos en el desarrollo de las tecnologías evaluadas se sitúa en 55% anual, la cual aparece como muy aceptable, si se la compara con el costo de oportunidad real de los recursos públicos que está alrededor del 10%.

Los sistemas de pastos-cultivos, las pasturas basadas en *Arachis* y las pasturas de *Brachiaria* puras mejoradas y resistentes a salivazo, por la magnitud de sus beneficios esperados, aparecen con mayor prioridad. Para el agroecosistema de sabanas, las asociaciones pastos-cultivos presentan los mayores beneficios potenciales. En los márgenes de bosque, las asociaciones basadas en *Arachis* aportarían el mayor beneficio potencial, y en las laderas los sistemas intensivos con numerosos componentes de gramíneas, leguminosas

herbáceas y leñosas y cultivos representan la opción más promisoría.

Esta evaluación es parcial en el sentido de que no incluye los impactos externos al sector ganadero y sobre los recursos naturales. Aún con esta limitación, el trabajo demuestra la importancia de las nuevas tecnologías de pasturas y alimentación, su elevado potencial de beneficios sociales y la necesidad de buscar mecanismos que permitan que ese potencial se vuelva realidad. Debido a la magnitud de los beneficios esperados, se puede concluir que hoy en día existe en América Latina tropical una subinversión de recursos para fomentar el diseño y transferencia de nuevas tecnologías de pasturas y alimentación a productores pecuarios.

Referencias

FAO. 1996. Base de Datos en INTERNET.

ILCA (International Livestock Centre for Africa). 1978. Mathematical modelling of livestock production systems: Application of the Texas A&M University beef cattle production model to Botswana. ILCA Systems Study, Addis Ababa, Etiopía.

Janssen, W. ; Sanint, L. R.; Rivas, R. L.; y Henry, G. 1990. CIAT's commodity portfolio reexamined: Indicators of present and future importance. En: Trends in CIAT commodities 1990. Documento de trabajo no. 74. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

Rivas, R. L. ; García, J.; Seré, C.; Lovell S. J.; y Sanint, L. R. 1992. Modelo de análisis de excedentes económicos, MODEXC. Documento de trabajo no. 107. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

_____ y Pachico, D. 1994. Evaluación socioeconómica ex-ante del impacto del Programa de Forrajes Tropicales del CIAT. Cali, Colombia. (Mimeografiado.)

Sanint, L. R.; Rivas, R. L.; Duque, C. M.; y Seré, C. 1985. Análisis de los patrones de consumo de alimentos en Colombia a partir de la encuesta de hogares DANE/DRI de 1981. En: Revista de Planeación y Desarrollo 17(3):37-68.

Alternativas Agropecuarias en la Región Pacífico Central de Costa Rica: Un Modelo de Simulación Aplicable a Sistemas de Doble Propósito

F. Holmann y R. D. Estrada*

Resumen

En la región Pacífico Central de Costa Rica, que comprende 3800 km², las principales actividades agrícolas son la ganadería de carne y leche y los cultivos de caña de azúcar, arroz y frutales. En el 53% de las fincas de la zona existe ganado, siendo el promedio del hato por finca de 43 animales, de los cuales 15 son vacas adultas. El promedio de las fincas mide 29 ha; el 5% de ellas se encuentra en cultivos perennes, el 11% en cultivos anuales, el 75% en pasturas y el 9% en bosques o rastrojo. Los objetivos del presente estudio fueron: (1) analizar las distintas actividades pecuarias en la zona y determinar hasta qué punto compiten por los mismos recursos con otras actividades agrícolas; (2) estimar la rentabilidad marginal de las pasturas mejoradas con leguminosas, en comparación con la pastura nativa común dentro de las actividades pecuarias; y (3) estimar los beneficios y los costos de los procesos de intensificación de la explotación pecuaria tendientes a liberar áreas para conservación de los recursos naturales. Para el efecto se utilizó un modelo de simulación desarrollado conjuntamente por el CATIE y la Red Internacional de Sistemas de Producción Animal para Latinoamérica (RISPAL), que utiliza una hoja electrónica QPRO versión 5.0 para Windows. La información para alimentar el modelo se obtuvo a partir de datos generados a nivel de región. El análisis de la información se hizo para cada año; por tanto, se utilizó el supuesto de que la finca se encontraba en equilibrio. Como actividades agrícolas se evaluaron los cultivos de caña de azúcar, arroz, mango y marañón. Se utilizó la teca (*Tectona grandis*) como especie para simular la actividad de reforestación comercial, ya que es una especie común dentro de las actividades forestales en la zona. Como parámetros de manejo animal se incluyen los utilizados en la región. Las actividades pecuarias evaluadas fueron lechería especializada, sistema de doble propósito y producción de carne. Los parámetros forrajeros correspondieron a pasturas de jaraguá (*Hyparrhenia rufa*), la asociación de *Brachiaria brizantha* con *Arachis pintoi*, y *Cratylia argentea* como banco de proteína para utilización durante la época seca de 6 meses de duración. Con base en las productividades y los promedios de precios

* Respectivamente: Economistas, Programas de Forrajes Tropicales y de Laderas, CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

en la zona, la mejor opción productiva es el cultivo de la caña de azúcar, pero éste exige suelos mecanizables y de buena fertilidad. La segunda opción es el cultivo del marañón y, posteriormente, la producción de leche en sistemas especializados. Los sistemas de producción de doble propósito son una opción posible, únicamente si el precio del kg de leche se establece entre US\$0.19 y US\$0.13, o cuando la relación de precios leche:carne varía entre 4.5:1 y 8:1. La actividad de carne es rentable únicamente en situaciones donde la relación de precios leche:carne es superior a 8.5:1, lo cual nunca ha existido en Costa Rica. En relación con las especies forrajeras evaluadas, la rentabilidad marginal de las gramíneas y leguminosas mejoradas es una función del costo de la mano de obra, del precio del producto y de la productividad del sistema. Así, en sistemas de doble propósito, la leguminosa *C. argentea* es 47% más rentable que el uso de pasto jaraguá con un precio US\$0.30 por cada kg de leche. Sin embargo, cuando este precio es de US\$0.20, la rentabilidad marginal de *C. argentea* es prácticamente cero, debido a que utiliza 54% más jornales que la pastura asociada *B. brizantha* + *A. pintoi* y 233% más jornales que el pasto jaraguá. De la misma manera, en sistemas de doble propósito con lactancias de 1000 kg de leche y mano de obra estimada en US\$10 por día, la pastura asociada y *C. argentea* generan 45% más ingreso que el pasto jaraguá. Sin embargo, en la medida en que el costo de la mano de obra se incrementa por encima de US\$13 por día, con estas bajas productividades el pasto jaraguá comienza a ser la mejor opción. Si la productividad aumenta de 1000 a 1500 kg por lactancia, el uso de gramíneas y leguminosas mejoradas resulta más rentable que el pasto jaraguá con todos los valores de mano de obra evaluados.

Introducción

En Costa Rica, los resultados de investigación muestran que la mayoría de los sistemas de producción en fincas de pequeños productores no son biológica ni económicamente sostenibles en el mediano plazo (Holmann et al., 1992). Ante esta perspectiva es necesario diseñar alternativas de producción sostenible, para lo cual el análisis de los componentes de una de ellas no es suficiente, requiriéndose, por tanto, estudios integrales a nivel de finca.

Con base en lo anterior, el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) elaboró un modelo conceptual de sistema de finca (CATIE, 1995), con el objeto de evaluar ex-ante el uso actual de la tierra y cuantificar el beneficio y los costos entre los componentes

del sistema y entre la productividad biológica, los ingresos y la conservación del medio ambiente. Con este modelo se espera comprender mejor las interacciones a nivel de finca, lo que permite, a su vez, un mejor análisis de las alternativas que enfrentan las distintas regiones en sus procesos de desarrollo.

El modelo debe ser manejado por investigadores que utilicen programación lineal y conozcan las bases del proceso de optimización. Con él se pretende alcanzar un equilibrio en el análisis, incorporando en forma balanceada aspectos biológicos y económicos con los retos que implica el mantenimiento del medio ambiente. Su selección se hizo con base en la optimización de ingresos, como una alternativa razonable para evaluar las decisiones a nivel de finca y la evolución de los sistemas de producción.

Adicionalmente, la estructura de los modelos de optimización permite cuantificar fácilmente el "trade-off" entre los diferentes componentes y las restricciones, seleccionar la mejor alternativa que se puede lograr con una combinación de recursos y precios, y mostrar cuánto se podría pagar por una unidad adicional de cada recurso que se agota.

Estudio de Caso: La Región Pacífico Central de Costa Rica

La región Pacífico Central de Costa Rica comprende 3800 km², tiene una temperatura media de 27 °C y una precipitación, promedio anual, de 1500 mm. La población se estima en 200,000 personas, con una tasa de desempleo del 8% y analfabetismo del 12%.

Las principales actividades agrícolas son la ganadería de carne y leche y los cultivos de caña de azúcar, arroz y frutales. En el 53% de las fincas de la zona existe ganado, siendo el promedio del hato por finca de 43 animales, de los cuales, en promedio, 15 son vacas adultas. El promedio de las fincas mide 29 ha; el 5% de ellas se encuentra en cultivos perennes, el 11% en cultivos anuales, el 75% en pasturas y el 9% en bosques o rastrojo. De acuerdo con el Centro Científico Tropical (1994), la zonificación agroecológica o uso de la tierra debería ser como sigue: 41% área protegida, 35% cultivos perennes y 23% cultivos anuales. La diferencia entre el área actualmente protegida y la sugerida para protección (9% vs. 41%) indica la necesidad urgente de redefinir las estrategias de crecimiento y desarrollo de la zona.

Las pasturas se pueden ubicar tanto en los cultivos perennes como en los anuales, cubriendo un área de aptitud de 59%. Estas abarcan el 75% de la zona y, conjuntamente con la ganadería, tienen un papel primordial en las actividades de conservación y protección del medio ambiente, sin sacrificar ingresos en el corto y mediano plazo.

El Consorcio de Investigación Tropileche seleccionó la zona Pacífico Central de Costa Rica, específicamente los municipios San Mateo, Orotina y Esparza, como región de intervención. Estos municipios en su conjunto poseen una población económicamente activa de aproximadamente 42,500 personas (60% rural) y 1441 explotaciones en 41,482 ha (Centro Científico Tropical, 1994). Como limitantes principales se pueden citar la escasa disponibilidad de la mano de obra, tanto contratada como familiar (0.92 hombre/finca), y el costo del dinero que dificulta la adquisición de equipo agrícola. Las tasas de interés de los préstamos agropecuarios han evolucionado desde un alto subsidio hasta tasas de interés real positivas en los últimos 10 años (Cuadro 1). En un principio, los productores tenían esperanzas de obtener créditos con tasas de interés más blandas, pero la estabilidad que se ha logrado en las tasas reales parece sólida en el mediano y largo plazo.

Objetivos

Los objetivos del presente estudio fueron: (1) analizar las distintas actividades pecuarias en la zona Pacífico Central de Costa Rica y determinar hasta qué punto compiten por los mismos recursos con otras actividades agrícolas; (2) estimar la rentabilidad marginal de las pasturas mejoradas con leguminosas, en comparación con la pastura nativa común dentro de las actividades pecuarias; y (3) estimar los beneficios y los costos de los procesos de intensificación de la explotación pecuaria tendientes a liberar áreas para conservación de los recursos naturales.

Metodología

Para cumplir con los objetivos del estudio se utilizó un modelo de simulación desarrollado conjuntamente por el CATIE y la Red Internacional de Sistemas de Producción Animal para Latinoamérica (RISPAL), que utiliza una hoja electrónica QPRO versión 5.0 para Windows. La información para alimentar el modelo se obtuvo a partir de datos generados a nivel de región (Bazill et al.,

Cuadro 1. Parámetros agrícolas y de reforestación utilizados para el desarrollo del modelo sobre alternativas en sistemas de producción en fincas de la región Pacífico de Costa Rica.

Parámetros	Cultivos alternativos				
	Caña de azúcar	Arroz	Mango	Marañón	Teca
Productividad (kg/ha por año)	70,000	2500	6000	3500	5 ^a
Precio (US\$/kg)	0.024	0.28	0.25	0.24	70 ^b
Vida útil (años)	5	1	10	10	25
Costos de producción (US\$/ha):					
Establecimiento	1035	714	1072	774	323
Mantenimiento anual	328	NA ^c	378	198	85
Cosecha	588	222	979	283	131
Jornales (no./ha por año)	25.5	4	79	36	10

- a. La productividad de madera de la teca se asumió en 125 m³ para un turno de 25 años, equivalentes a una producción de 5 m³ anuales.
b. El precio se refiere al metro cúbico de madera en troza puesta en finca.
c. No aplica.

1994; Centro Científico Tropical, 1994) y de país (Holmann y Montenegro, 1994).

El análisis de la información se hizo para cada año; por tanto, se utilizó el supuesto de que la finca se encontraba en equilibrio. Lo anterior es de especial importancia, sobre todo para actividades a largo plazo como la reforestación —es decir, en lugar de vender madera cada 25 años, el modelo divide la producción total entre 25 y asume una venta igual a 1/25 cada año.

Parámetros agrícolas y de reforestación

En el Cuadro 1 se incluyen los parámetros agrícolas y de reforestación utilizados para hacer las "corridas" bases del modelo. Como actividades agrícolas se evaluaron los cultivos de caña de azúcar, arroz, mango y marañón. Se utilizó la teca (*Tectona grandis*) como especie para simular la actividad de reforestación comercial, ya que es una especie común dentro de las actividades forestales en la zona. Las "corridas" se basaron en los promedios de las productividades reportadas en la zona (Centro Científico Tropical, 1994). En el caso de la teca, el promedio estimado fue 125 m³ de madera en un periodo de 25 años para una producción en equilibrio de

5 m³/año. Los precios al productor se consideraron puestos en finca (Centro Científico Tropical, 1994; Holmann y Montenegro, 1994).

Para el cultivo de mango, los precios se tomaron entre marzo y agosto del periodo 1982-1991, y para el de marañón entre enero y abril del periodo 1984-1991, épocas que corresponden a la cosecha y, por consiguiente, los precios son más bajos que en otras épocas del año. Las producciones de estas frutas en otros meses del año implican inversión en riego, lo cual no se tuvo en cuenta en este estudio para las actividades agrícola o pecuaria.

Parámetros de manejo animal

En el Cuadro 2 se incluyen los parámetros de manejo animal utilizados en el estudio. Las actividades pecuarias evaluadas fueron lechería especializada, sistema de doble propósito y producción de carne. Para las comparaciones entre actividades pecuarias y entre ellas vs. actividades agrícolas, se utilizó como índice una parición anual de 70%, equivalente a un intervalo entre partos de 17.14 meses para todos los casos. Se consideraron precios para productos puestos en finca, al igual que en las actividades agrícolas y de reforestación.

Cuadro 2. Parámetros de manejo animal utilizados en el modelo sobre alternativas de producción en sistemas de fincas en la región Pacífico de Costa Rica.

Parámetros	Sistema de producción		
	Leche	Doble propósito	Carne
Producción:			
Leche (kg/lactancia)	2000	1200	800
Vendible	1700	900	NA ^b
Terneros	300	300	800
Carne (kg/ternero) ^a	150	150	200
Partición anual (%)	70	70	70
Peso (kg, U.A.)	400	400	400
Valor de vacas (US\$/unidad)	550	500	450
Descarte anual (%)	20	20	20
Precios (US\$/kg):			
Leche	0.28	0.28	NA
Carne desecho	0.40	0.60	0.80
Carne terneros	1.65	1.65	1.65
Jornales (no./vaca por año)			
	7	5	2

- a. En el caso de sistemas especializados en leche, el macho se descarta al nacer y la hembra se desteta a un peso de 150 kg. En el caso de sistemas de doble propósito, tanto las hembras como los machos se levantan y destetan cuando alcancen 150 kg de peso.
- b. No aplica.

Los requerimientos de mano de obra para evaluar las actividades ganaderas se estimaron, respectivamente, en 7, 5 y 2 jornales/vaca por año para la lechería especializada con dos ordeños diarios, el sistema de doble propósito con un ordeño diario, y la crianza de terneros o producción de carne. Estos requerimientos son únicamente para el manejo del hato y no incluyen el manejo de las pasturas.

Parámetros forrajeros

Los parámetros correspondientes a las especies de gramíneas y leguminosas utilizadas para "correr" el modelo aparecen en el Cuadro 3. Las pasturas evaluadas fueron jaraguá (*Hyparrhenia rufa*), la asociación de *Brachiaria brizantha* con *Arachis pinto*, y *Cratylia argentea* como banco de proteína para utilización durante la época seca de 6 meses de duración.

Resultados

Para aplicar el modelo, se consideró una finca base de 30 ha y se partió del supuesto de que dispone de 300 jornales familiares por año y, adicionalmente, era posible contratar mano de obra externa a la finca a

Cuadro 3. Parámetros forrajeros utilizados en el modelo sobre alternativas de producción en sistemas de fincas en la región Pacífico de Costa Rica.

Parámetros	Tipo de pastura			
	Jaraguá	<i>Brachiaria brizantha</i>	<i>Arachis pinto</i>	<i>Cratylia argentea</i>
Producción (MS, kg/ha)				
Epoca de lluvias	3500	5000	1500	5000
Epoca seca	875	1250	0	1250
Traspaso de biomasa producida en época de lluvia a época seca (%)				
	25	25	50	90
Digestibilidad (%)				
Epoca de lluvias	45	60	60	55
Epoca seca	30	50	65	50
Pérdidas por pisoteo (%)				
Epoca de lluvias	30	30	30	NA ^a
Epoca seca	25	25	10	10
Jornales (no./ha por año)	3	6.5	NA	10
Costo de establecimiento/ha (US\$)	0	213	NA	560

- a. No aplica. Este costo se asignó a la gramínea asociada con *B. brizantha*.

un costo de US\$10 por día. En el Cuadro 4 se presenta el ingreso neto por hectárea de las tres actividades más rentables resultantes de la aplicación o "corrida" del modelo bajo los escenarios: sin restricción de ningún tipo, con restricción de la mano de obra, y con restricción en el uso de la tierra. A continuación se presentan los resultados en cada uno de estos casos.

Sin restricciones

Cuando no existen restricciones de suelo, capital y mano de obra, la actividad más competitiva es el cultivo de la caña de azúcar. Bajo este escenario, la finca típica de la zona (30 ha) estaría totalmente sembrada en este cultivo, generando un ingreso anual de US\$17,932 por finca, o US\$598 por ha. En este escenario no se utiliza capital, ya que la finca en equilibrio genera excedentes por encima del promedio del capital invertido, se utilizan todos los jornales familiares y, adicionalmente, se contratan 465 jornales por fuera de la finca, equivalentes a 1.87 personas por tiempo completo. Este ingreso de US\$17,932 anuales es lo que le queda a la familia, o sea, que los 300 jornales familiares que se utilizan no aparecen contabilizados como

costos, pero sí los jornales contratados. Por tanto, para este escenario la retribución diaria por jornal familiar fue de US\$59.8, superior al costo diario normal de la mano de obra (US\$10) disponible en la zona.

Suponiendo que el precio de la caña se reduce 17% —cada TM pasa de US\$24 a US\$20— la mejor opción sería el cultivo del marañón, generando un ingreso anual de US\$9922 por finca, equivalente a US\$331/ha por año. En este escenario tampoco se utiliza capital, pero sí se emplean todos los jornales familiares y, adicionalmente, se contratan 780 jornales por fuera de la finca, que equivalen a 2.6 personas por tiempo completo. La retribución diaria por jornal familiar en este escenario es de US\$33.1, siendo la actividad que requiere mayor cantidad de mano de obra, en comparación con las demás alternativas evaluadas en este estudio.

Si el precio de cada TM de azúcar se reduce a US\$19 y el precio de cada kg de marañón se reduce a US\$0.22, la opción siguiente sería la actividad de lechería especializada —se consideran 27.2 ha en *B. brizantha* + *A. pintoi* y 2.8 ha de *C. argentea* y 41.5 vacas lecheras, lo que

Cuadro 4. Ingresos de las alternativas más rentables en sistemas de fincas en la región Pacífico de Costa Rica, bajo escenarios sin restricción, con restricción en mano de obra y en el uso de la tierra.

Alternativas	Ingreso/ha por año (US\$)	Cambio (%) ^a
Sin restricción:		
Caña	598	
Marañón	331	
Leche	270	
Con restricción de jornales:		
Caña (75% del área)	474	-21
Leche-marañón (87%-13% del área)	278	-16
Arboles de teca	225	-17
Con restricción del uso de la tierra:		
Caña-marañón-teca-conservación (25%-35%-20%-20% del área)	326	-45
Marañón-teca-conservación (60%-20%-20% del área)	263	-21
Leche-teca-conservación (60%-20%-20% del área)	227	-16

a. En relación con la actividad homóloga sin ninguna restricción según nivel jerárquico.

genera un ingreso anual de US\$8105 por finca, o US\$270/ha. En este escenario se utilizan US\$27,001 del capital y todos los jornales familiares; adicionalmente, se contratan 187 jornales fuera de la finca equivalentes a 0.62 persona por tiempo completo. La retribución diaria por jornal familiar en este escenario sería de US\$27.

La actividad de doble propósito entra a la solución únicamente cuando el precio de cada kg de leche se encuentra por debajo de US\$0.19, y cuando los cultivos tienen precios deprimidos. De la misma manera, la actividad de reforestación con teca es solución cuando, simultáneamente, los precios de la caña de azúcar, el marañón y la leche son, respectivamente, 25%, 17% y 14% inferiores al precio promedio que aparece en el Cuadro 2.

Con restricción en mano de obra

La realidad de la zona y del país, en general, indica que existen serias limitaciones en la disponibilidad de mano de obra, especialmente en el sector rural. Con base en la población existente, el promedio disponible por finca es de 0.91 persona (unos 275 jornales/año). Con esta restricción y con los precios y el promedio de productividad que aparecen en los Cuadros 1 a 3, la solución óptima sería sembrar 22.5 ha de caña en lugar del total de 30 ha que se sembrarían si no existieran restricciones en mano de obra. Esto generaría un ingreso anual de US\$14,223 (US\$474/ha) vs. US\$598/ha que se generarían cuando no hay restricción, o sea, 20.7% menos de ingreso. Bajo este escenario se utilizan todos los jornales disponibles y no usa capital.

Si el precio de cada TM de caña se reduce a US\$20, la opción ya no es la siembra de marañón como lo era anteriormente, sino que entra a ser importante la actividad de lechería especializada junto con la caña de azúcar —8.8 ha en caña y el resto del área en pasturas. Cuando el precio de la TM de

caña se reduce a US\$19, la producción de leche sería la única actividad. Por tanto, a pesar de que el cultivo del marañón era más rentable que la producción de leche, el primero no entra a formar parte de la solución, debido a que demanda mucha mano de obra en relación con la disponibilidad del área para otras actividades. En consecuencia, la restricción en mano de obra afecta el potencial de generación de mayores ingresos con actividades de cultivos agrícolas, pero no afecta las actividades ganaderas que utilizan relativamente menos mano de obra por unidad de área que los cultivos agrícolas aquí considerados.

Con restricción en el uso de la tierra

De acuerdo con el uso de la tierra en la región, reportado por el Centro Científico Tropical (1994), el 40% de los suelos existentes deberían estar como áreas de conservación. Para efectos de este estudio, se asumió que el 50% de estas áreas de conservación podrían estar en actividades de reforestación y el 50% restante permanecer como áreas en descanso sin generar ingresos. Asimismo, el 23% de los suelos de la zona son de uso agrícola, principalmente para caña de azúcar y arroz, pero también pueden competir los frutales y las pasturas. Si se asume que en la finca típica existen suelos con vocación agropecuaria y con vocación forestal, se tendrían los análisis siguientes:

1. Con los precios y productividades promedio, el óptimo en esta finca sería establecer 7 ha con caña de azúcar, 11 ha con marañón y 6 ha con árboles de teca, lo que generaría US\$9773 por finca (US\$416/ha por año). Con este sistema se compran 326 jornales adicionales a los 300 jornales familiares que se utilizan y no es necesario invertir capital. Comparando este sistema con uno sin restricciones, se podría pensar que este último escenario corresponde a una finca localizada en suelos de alta fertilidad y topografía plana y totalmente

mecanizable, y que la finca, en este caso, tiene limitaciones de fertilidad de suelos y está localizada en zonas de ladera que limitan la selección de alternativas. Bajo esta perspectiva, la finca genera casi la mitad del ingreso esperado en relación con la finca de mejores suelos y topografía (por ej., US\$9773 vs. US\$17,932 por finca).

2. Si el precio de la TM de caña se reduce a US\$20, la finca tendría 18 ha de marañón y 6 ha de árboles de teca, y generaría US\$7903, o sea, 20.35% menos que la situación de precios homóloga en el escenario sin restricciones.
3. Si el precio del marañón se reduce a US\$0.22/kg, y el precio de cada TM de caña se reduce a US\$19, la opción sería la producción de leche en 16.3 ha de *B. brizantha* + *A. pintoi* y 1.7 ha de *C. argentea*, con un hato de 25 vacas lecheras y 6 ha de árboles de teca. Con este sistema sería posible comprar 50 jornales y, adicionalmente, utilizar 300 jornales familiares disponibles, lo que generaría US\$6814 por finca, o sea, un ingreso 16% inferior al del escenario sin restricciones.

Análisis de la Producción Pecuaria

Debido a la relación de precios existente en Costa Rica, el país ha favorecido históricamente la actividad lechera, en comparación con la crianza para producción de carne. Mientras el precio de cada kg de leche se mantenga por encima de US\$0.19, o mientras la relación de precios carne:leche sea 4.3:1 o inferior, la actividad más rentable dentro de la ganadería es la lechería especializada. En la Figura 1 se muestran las relaciones de precios pagados a los productores de carne y de leche desde 1970, lo que indica que el país ha mantenido una política consistente que favorece la producción de leche, lo cual genera un cambio en el tipo de producción pecuaria y estimula las alternativas de

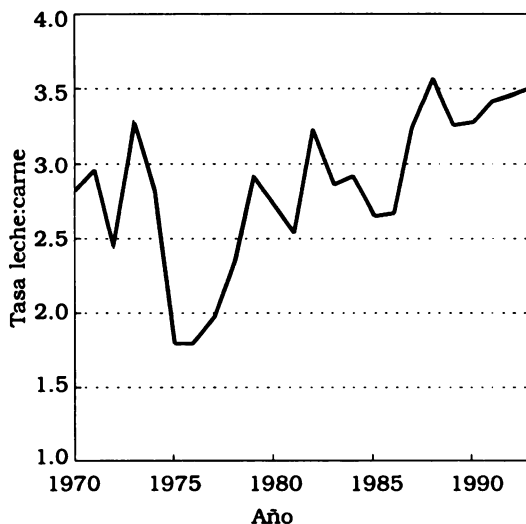


Figura 1. Relación entre precios de carne y leche al productor. Región Pacífico de Costa Rica.

ganado de doble propósito y lechería especializada (Cuadro 5).

Es necesario señalar que los precios de la leche utilizados en la Figura 1 son los que ofrecen las plantas procesadoras para leche fría con calidad A, es decir, el mejor precio en el mercado. En Costa Rica, el 90% de la leche que se comercializa a través de plantas procesadoras pertenece a cooperativas de leche, siendo necesario que el ganadero esté asociado para que le reciban la producción. Por ejemplo, si un productor quiere vender

Cuadro 5. Inventario de hembras mayores de 2 años, según el sistema de producción animal en fincas de la región Pacífico de Costa Rica.

Sistema de producción	1973	1984	Cambio (% anual)
	(no. animales)		
Carne	585,391	453,461	-2.0
Leche	57,506	148,864	14.4
Doble propósito	21,918	151,416	53.7

FUENTE: Dirección General de Estadística y Censos (1973, 1984).

su leche a una planta procesadora de una cooperativa, tiene que pagar un derecho que varía entre US\$10 y US\$50 por kg de leche, según la entregue a Coopeleche, que procesa diariamente 25,000 kg, o a la Cooperativa Dos Pinos, que procesa diariamente 600,000 kg de leche.

La alternativa de mercado, si no se entrega la leche a las plantas procesadoras, es el intermediario, pero, en este caso, el precio pagado al productor es, aproximadamente, 20% inferior del ofrecido en las procesadoras. A este menor precio, la relación de precios carne:leche se situaría entre 4:1 y 5:1, lo que tiende a favorecer la producción con ganado de doble propósito. Estos resultados coinciden con los generados por el modelo empleado en este estudio, ya que con precios por kg de leche entre US\$0.18 y US\$0.13 —relación de precios carne:leche entre 4.3:1 y 8.5:1— y con los promedios de producción que aparecen en el Cuadro 2, la actividad más rentable es el doble propósito, debido al ingreso adicional por venta de carne.

Con niveles de precios inferiores a US\$0.13/kg de leche —una relación de precios carne:leche mayor que 8.5:1— es más rentable suministrar la leche al ternero y producir carne. Es necesario señalar que la rentabilidad, según esta relación de precios, no sólo se debe al precio del producto, sino a la productividad del sistema. Estas productividades se han utilizado, ya que representan los promedios típicos de la zona.

Comparación de Sistemas de Producción Utilizando Diferentes Niveles de Tecnología

El análisis siguiente se hizo tomando en cuenta que existe un sesgo real entre los sistemas utilizados en la zona. Los genotipos animal encontrados en lecherías especializadas tienen una mayor proporción de genes exóticos para razas lecheras, en

comparación con aquellos encontrados en sistemas de doble propósito, donde predominan los cruces raciales. De la misma manera, los genotipos encontrados en sistemas de crianza tienden a ser del tipo *Bos indicus* (Cebú). Por tanto, el potencial genético para producción de leche y carne en cada sistema es diferente.

En las Figuras 2A y 2B aparecen los ingresos netos por hectárea, según los distintos costos de mano de obra para sistemas de producción en lechería especializada con distintos niveles de producción de leche (2000 y 2500 kg), asumiendo un precio base de US\$0.28/kg de leche. Con un costo diario total de mano de obra inferior a US\$16, existe ventaja comparativa para producir leche en pasturas mejoradas (*B. brizantha*-*A. pintoi*-*C. argentea*) (Figura 2A). Sin embargo, con un costo mayor al anterior, el sistema favorece el uso de pasto jaraguá (*Melinis minutiflora*) con productividades inferiores a 2000 kg por lactancia. Esto se debe a que la pastura mejorada requiere 2.2 veces más mano de obra por hectárea para labores de mantenimiento, y *C. argentea* 3.3 veces más mano de obra que el pasto jaraguá. Estos resultados sugieren que, en aquellas fincas donde el costo de oportunidad de la mano de obra es menor, tienen mayores probabilidades de adoptar pasturas mejoradas. Adicionalmente, el costo de establecimiento inicial de las pasturas mejoradas es mayor que el de pasto jaraguá, que tiene un costo cero. Con niveles de productividad por encima de 2500 kg por lactancia, nuevamente las pasturas mejoradas con leguminosas generan mayores rentabilidades.

Las Figuras 3A y 3B contienen información similar, pero para sistemas de doble propósito. Debido a que los ingresos en estos sistemas de baja productividad (menos de 1000 kg por lactancia) son menores a los obtenidos con lecherías especializadas, las pasturas mejoradas son más rentables que las nativas, únicamente si los precios por jornal son inferiores a

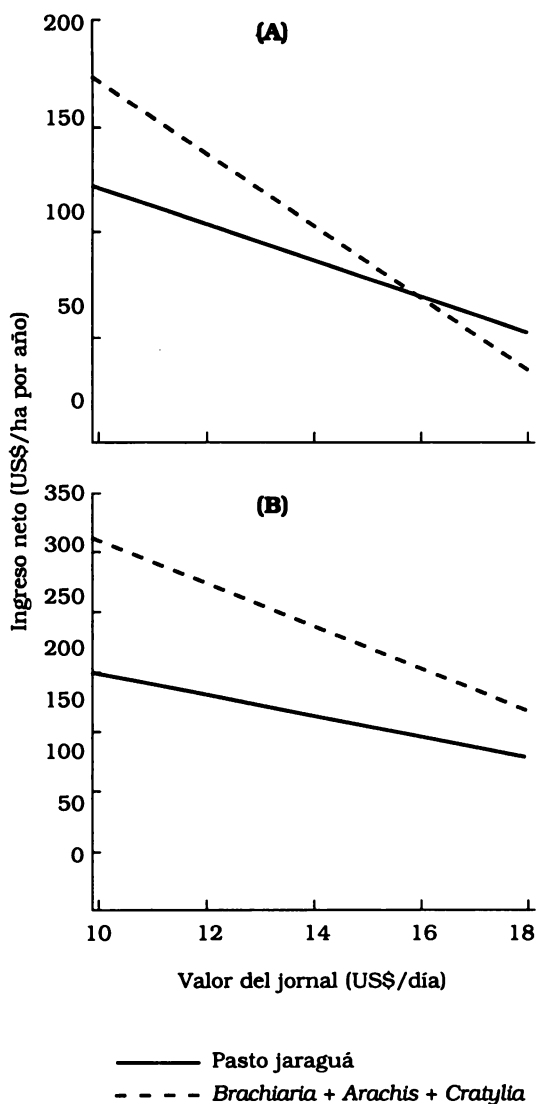


Figura 2. Ingreso neto según el costo de la mano de obra para sistemas especializados en lechería con: (A) una producción de 2000 kg de leche por lactancia y (B) una producción de 2500 kg de leche por lactancia. Región Pacífico de Costa Rica.

US\$13. Con una productividad de 1500 kg por lactancia, las pasturas mejoradas son más rentables que el pasto jaraguá, en todos los precios de mano de obra evaluados.

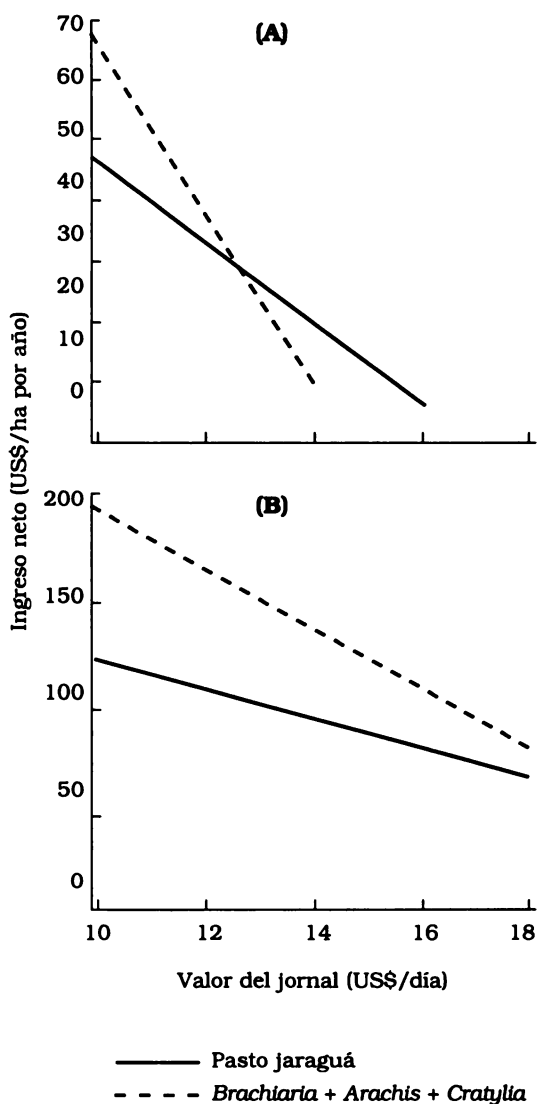


Figura 3. Ingreso neto según el costo de la mano de obra para sistemas de doble propósito con: (A) una producción de 1000 kg de leche por lactancia y (B) una producción de 1500 kg de leche por lactancia. Región Pacífico de Costa Rica.

En las Figuras 4A y 4B se incluye información similar para hatos de carne. En sistemas que producen terneros destetos de 175 kg, la incorporación de pasturas

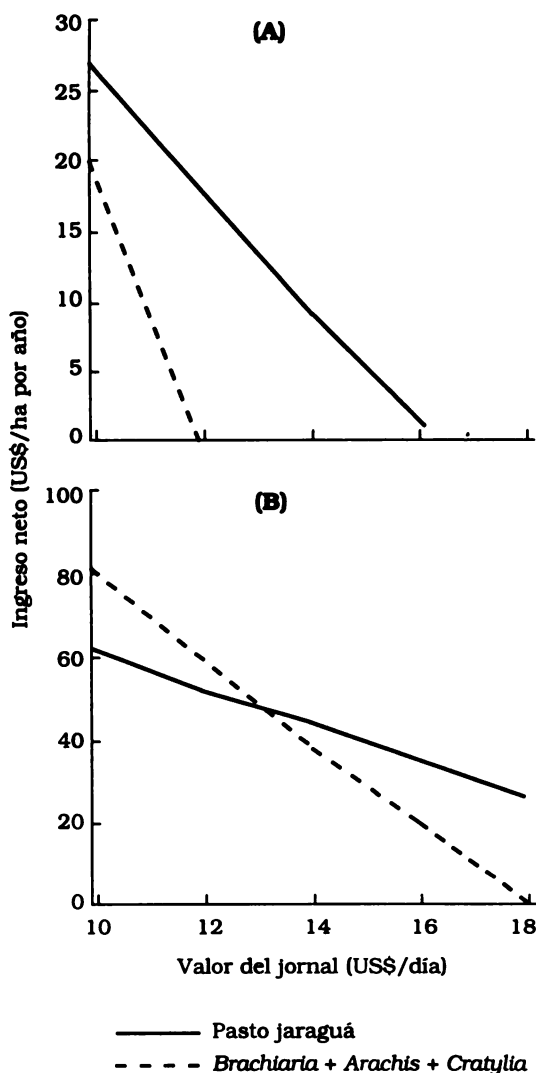


Figura 4. Ingreso neto según el costo de la mano de obra para sistemas especializados de producción de carne: (A) destete de terneros de 175 kg y (B) destete de terneros de 225 kg. Región Pacífico de Costa Rica.

mejoradas no genera mayores ingresos que el pasto jaraguá, en ningún nivel de costo de mano de obra. Sin embargo, si se producen terneros destetos de 225 kg, es posible combinar pasturas mejoradas y *C. argentea* para obtener mayores ganancias con un costo total de mano de obra inferior a US\$13 por día.

Rentabilidad Marginal de Especies Forrajeras

Se analizaron varias alternativas restringiendo el modelo a los sistemas de producción animal (lechería especializada, doble propósito y carne) y utilizando las tres opciones forrajeras evaluadas (pasto jaraguá, *B. brizantha* + *A. pintoi*, y *C. argentea*) sin restricción en mano de obra disponible, calidad del suelo y disponibilidad de capital.

En la Figura 5A se incluyen los resultados en una finca de 30 ha manejada bajo un sistema de lechería especializada y una productividad de 2000 kg por lactancia y distintos precios de venta de la leche. Como se observa, cuando el precio de venta es de US\$0.30/kg de leche, el ingreso/ha es de US\$164 en el caso del pasto jaraguá, US\$284 para *B. brizantha* + *A. pintoi* y US\$281 para *C. argentea*. Por lo tanto, la rentabilidad marginal de las pasturas mejoradas en relación con el pasto jaraguá es de 73% y 71%, respectivamente. Esta rentabilidad disminuye, a medida que el precio de la leche se reduce; así, a niveles de US\$0.20 por kg de leche, el pasto jaraguá genera US\$57, *B. brizantha* + *A. pintoi* US\$85 y *C. argentea* US\$56. Es decir, la pastura mejorada de gramínea + leguminosa tiene una rentabilidad marginal de 49% sobre el pasto jaraguá y *C. argentea* genera un ingreso similar a este pasto. Esto se debe a que esta leguminosa demanda mucha mano de obra (10 jornales/ha por año vs. 6.5 jornales en la pastura asociada y 3 jornales en la pastura de jaraguá), la cual a un costo diario de US\$10 hace que la tecnología no sea atractiva desde el punto de vista económico.

En la Figura 5B se observan resultados similares para el sistema de doble propósito. Con precios de leche de US\$0.30 por kg, la rentabilidad marginal de la pastura asociada y *C. argentea* es 59% y 47%, respectivamente. Con precios de leche de US\$0.20 por kg, la rentabilidad marginal es de 39% y 3% para las mismas pasturas, respectivamente.

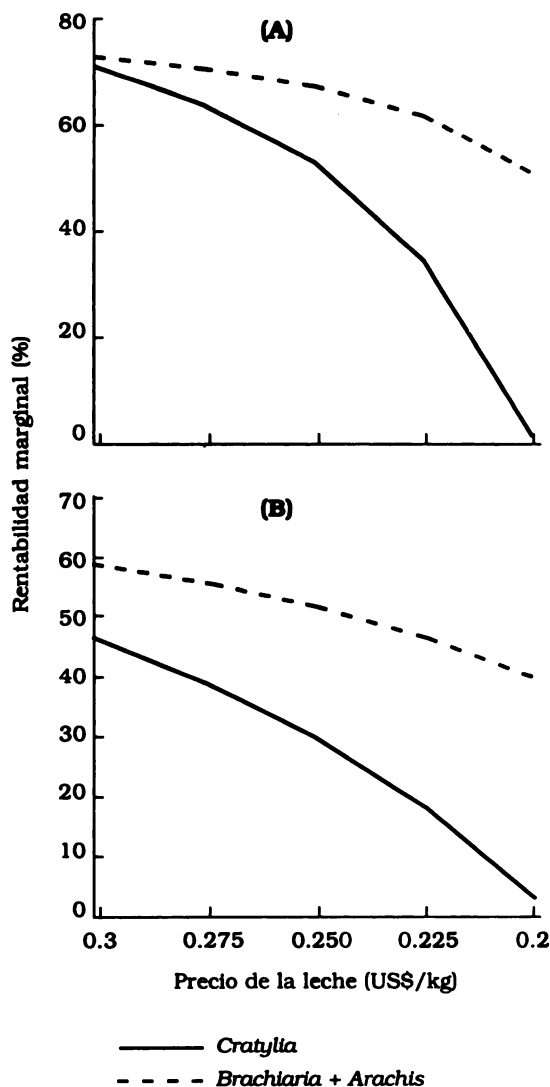


Figura 5. Rentabilidad marginal de Cratylia y de Brachiaria + Arachis sobre el pasto jaraguá en sistemas especializados de producción con diferentes precios de la leche, y producciones de: (A) 2000 kg de leche por lactancia y (B) 1200 kg de leche por lactancia. Región Pacífico de Costa Rica.

En la Figura 6 se incluyen los resultados para el sistema de crianza o carne. En lugar de los precios de la leche, se utilizaron precios de carne de vacas de desecho, asumiendo un buen precio para machos destetados de US\$1.65 por kg de peso vivo. La rentabilidad marginal en relación con el

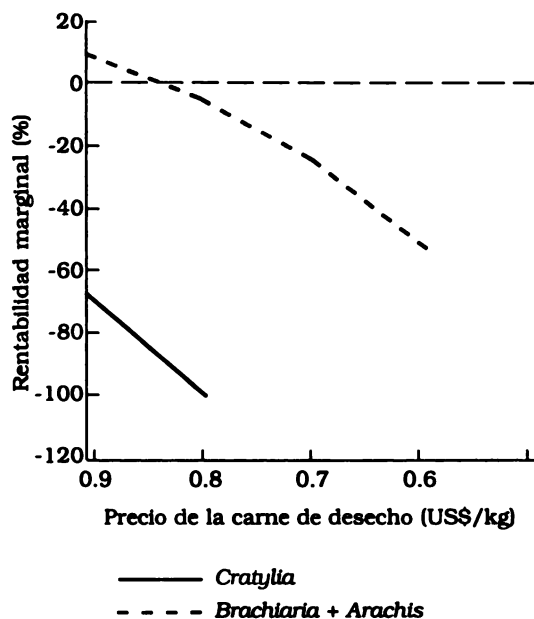


Figura 6. Rentabilidad marginal de Cratylia y de Brachiaria + Arachis sobre el pasto jaraguá en sistemas de producción de carne con 800 kg de leche por lactancia (convertidos en terneros destetados de 180 kg) bajo diferentes precios de carne de desecho. Región Pacífico de Costa Rica.

pasto jaraguá fue negativa en la mayoría de los casos, lo que sugiere que los sistemas de crianza en la zona son únicamente rentables bajo escenarios extensivos (por ej., con pasto jaraguá) y donde la intensificación no se justifica económicamente en el caso de bajas productividades.

Forrajes Mejorados para la Intensificación de la Producción y la Conservación de los Recursos Naturales

Con el fin de estimar las posibles ventajas de nuevas especies forrajeras mejoradas adaptadas para intensificar la producción y liberar áreas que podrían permanecer como zonas de conservación, se desarrolló el

Cuadro 6. Beneficios y costos del proceso de intensificación en sistemas de producción de leche en fincas de la región Pacífico de Costa Rica, para obtener el mismo ingreso neto anual por finca con distintas tecnologías forrajeras y dos niveles de productividad de leche.

	Tecnología			
	Pasto jaraguá (2000 kg/lactancia)	Pastura mejorada* (2000 kg/lactancia)	Pastura mejorada (2200 kg/lactancia)	Cambio ^b (%)
Area (ha):				
Pasturas	30	21.7	16.1	-28 (-46)
Conservación	0	8.3	13.9	+28 (+46)
Ingreso neto/año (US\$):				
Finca	3613	3687	3614	0 (0)
Hectárea	120	170	224	+42 (+87)
Producción (kg/ha):				
Leche	971	1648	1842	+70 (+90)
Carne	105	178	178	+69 (+69)
Carga (UA/ha)	0.96	1.63	1.63	+70 (+70)
Costo de producción (US\$/kg):				
Leche	0.187	0.203	0.186	+8 (0)
Carne	0.59	0.63	0.58	+7 (0)
Uso de recursos				
Jornales (no.)	261	358	266	+37 (+2)
Vacas (no.)	24.5	30	22.3	+22 (-9)
Capital (US\$)	14,974	21,662	15,228	+45 (+2)

a. Pastura mejorada: *B. brizantha* + *A. pintoi* y *C. argentea*.

b. Valores entre paréntesis indican el cambio porcentual para el nivel de productividad de 2200 kg/lactancia con respecto al pasto jaraguá.

modelo comparando la finca base de 30 ha totalmente sembrada con pasto jaraguá para los tres sistemas de producción vs. estos mismos sistemas utilizando gramíneas y leguminosas mejoradas.

En el Cuadro 6 se observan los beneficios y costos del proceso de intensificación en sistemas especializados de leche para obtener el mismo ingreso neto anual por finca con distintas tecnologías forrajeras y dos niveles de productividad de leche. Como se observa, el mismo ingreso neto en 30 ha de pasto jaraguá se puede lograr con 21.7 ha de gramíneas y leguminosas mejoradas, liberando así 8.3 ha equivalentes al 28% del área total de la finca, que podrían ser destinadas a zona de conservación. No obstante, a pesar de que el ingreso neto/ha aumentó 42% en las áreas de

pasturas mejoradas (pasó de US\$120 a US\$170/ha) debido a una mayor productividad (70% más leche y 69% más carne por hectárea que en pasto jaraguá), el costo de producción por unidad de producto también aumentó. Así, el costo por kg de leche y carne fue, respectivamente, 8% y 7% mayor en pasturas y leguminosas mejoradas que en pasturas de jaraguá.

La intensificación no resultó gratuita, ya que se liberó el 28% del área total de la finca para conservación y el productor continuó generando el mismo ingreso neto anual. Esto se logró utilizando especies de gramíneas y leguminosas mejoradas que producen mayor cantidad de biomasa comestible y, por tanto, permiten un aumento de la carga animal en 70% (0.96 a 1.63 UA/ha). Sin embargo, esto implicó el uso de una mayor cantidad de recursos

—37% más mano de obra, 22% más vacas y 45% más capital, lo que generó un costo de producción mayor que el escenario con pasturas de jaraguá. Estos resultados coinciden con los de Griffith y Zepeda (1994), quienes encontraron que la reducción del área en ganadería para promover prácticas de producción más sostenibles del medio ambiente resultaron en un mayor costo por kg de leche, especialmente en el caso del pequeño productor.

Por otra parte, si la productividad por vaca en pasturas de gramíneas y leguminosas mejoradas hubiera aumentado a 2200 kg leche por lactancia, equivalente a 10% más leche por vaca, adicionalmente al incremento en la carga animal, el costo de producción de leche y carne hubiera sido similar al escenario con pasto jaraguá. Con este nivel de producción por vaca, es posible intensificar la producción sin incrementar los costos unitarios ni los recursos; así, el uso de mano de obra y capital aumentaron 2%, pero el tamaño del hato se redujo en 9%. Por tanto, para asegurar el éxito de la adopción, los extensionistas e investigadores que asesoran o recomiendan las nuevas tecnologías deben prestar atención, no solamente a la productividad de la pastura, sino también a la respuesta esperada del animal a dietas mejoradas. En este sentido, el genotipo animal adecuado es un requisito para el uso de pasturas mejoradas.

En casos donde el costo unitario de producción se incrementa y no sea posible incrementar la productividad por vaca (por ej., falta de potencial genético de los animales), es necesario que las áreas que se destinen para actividades de conservación generen ingresos adicionales para el productor que le permitan compensar el incremento en el uso de recursos, especialmente de capital.

En el Cuadro 7 se incluyen los beneficios y costos del proceso de intensificación en sistemas de doble propósito con dos niveles de productividad de leche. Al igual que el sistema especializado en leche, el proceso de

intensificación permite liberar hasta 35% del área total de la finca y, aún así, mantener el mismo ingreso neto anual que se logra con pasto jaraguá. Sin embargo, los costos de producción se incrementan debido al aumento en el uso de los recursos de mano de obra, animales y capital.

En el Cuadro 8 se presentan los beneficios y costos del proceso de intensificación en sistemas de producción de carne para obtener el mismo ingreso neto anual por finca con distintas tecnologías forrajeras y dos niveles de productividad de carne. Al igual que en los otros sistemas de producción, la utilización de gramíneas y leguminosas mejoradas permite liberar un área significativa de la finca (9%) para conservación, generando el mismo ingreso neto anual por finca. Esto se logra aumentando la productividad en 67% (263 kg vs. 157 kg/ha de carne), así como el ingreso neto/ha en 9% (US\$47 vs. US\$43). No obstante, el costo de producción de 1 kg de carne se incrementa 8% (US\$1.15 vs. US\$1.06). En consecuencia, para intensificar la producción de carne sin incrementar los costos unitarios de producción, es necesario no sólo aumentar la carga animal, sino también incrementar la producción de carne por vaca, produciendo terneros más pesados en el mismo tiempo mediante un incremento en la calidad de la pastura mejorada o utilizando genotipos de mayor potencial genético con capacidad para consumir mayor cantidad de forraje.

Conclusiones

Se utilizó un modelo de programación lineal para analizar sistemas de producción agropecuarios a nivel de finca. El modelo se desarrolló tomando como caso la ecozona de intervención del Consorcio Tropileche en el Pacífico Central de Costa Rica. Con base en las productividades y los promedios de precios en la zona, suministrados por el Centro Científico Tropical (1994), la mejor opción productiva es el cultivo de la caña de azúcar, pero éste exige suelos mecanizables

Cuadro 7. Beneficios y costos del proceso de intensificación en sistemas de producción de doble propósito en la región Pacífico de Costa Rica, para obtener el mismo ingreso neto anual por finca con distintas tecnologías forrajeras y dos niveles de productividad de leche.

	Tecnología			
	Pasto jaraguá (1200 kg/lactancia)	Pastura mejorada ^a (1200 kg/lactancia)	Pastura mejorada (1300 kg/lactancia)	Cambio ^b (%)
Area (ha):				
Pasturas	30	19.4	16.5	-35 (-45)
Conservación	0	10.6	13.5	+35 (+45)
Ingreso neto/año (US\$):				
Finca	2693	2687	2694	0 (0)
Hectárea	90	138	163	+53 (+81)
Productividad (kg/ha):				
Leche	487	812	899	+67 (+85)
Carne	140	233	233	+66 (+66)
Carga (UA/ha)	0.91	1.52	1.52	+67 (+67)
Costo de producción (US\$/kg):				
Leche	0.197	0.203	0.193	+3 (-2)
Carne	0.83	0.86	0.82	+4 (-1)
Uso de recursos:				
Jornales (no.)	206	260	221	+26 (+7)
Vacas (no.)	23.2	25	21.2	+8 (-9)
Capital (US\$)	13,446	17,574	14,487	+31 (+8)

a. Pastura mejorada: *B. brizantha* + *A. pintoi* y *C. argentea*.

b. Valores entre paréntesis indican el cambio porcentual para el nivel de productividad de 1300 kg leche/lactancia en relación con el pasto jaraguá.

y de buena fertilidad. La segunda opción es el cultivo del marañón y posteriormente la producción de leche en sistemas especializados.

Los sistemas de producción de doble propósito son una opción posible, únicamente si el precio del kg de leche se establece entre US\$0.19 y US\$0.13, o cuando la relación de precios leche:carne varía entre 4.5:1 y 8:1. Este precio se obtiene si el productor no tiene acceso a las plantas procesadoras de cooperativas para la entrega de la leche, para lo cual necesita asociarse y pagar por el derecho a entregar la producción.

La actividad de carne es rentable únicamente en situaciones donde la relación de precios leche:carne es superior a 8.5:1, lo cual nunca ha existido en Costa Rica. Sin embargo, es una actividad atractiva para

zonas donde no existe infraestructura vial y cuando el costo de oportunidad de la mano de obra es mayor fuera de la finca que dentro de ella, ya que la actividad de crianza requiere poca mano de obra y, en muchos casos, las labores en esta actividad las pueden realizar niños o adultos fuera del mercado formal de trabajo.

En relación con las especies forrajeras evaluadas, la rentabilidad marginal de las gramíneas y leguminosas mejoradas es una función del costo de la mano de obra, del precio del producto, y de la productividad del sistema. Así, en sistemas de doble propósito, la leguminosa *C. argentea* es 47% más rentable que el uso de pasto jaraguá con un precio US\$0.30 por cada kg de leche. Sin embargo, cuando este precio es de US\$0.20, la rentabilidad marginal de *C. argentea* es prácticamente cero, debido a que utiliza 54% más jornales que la pastura

Cuadro 8. Beneficios y costos del proceso de intensificación en sistemas de producción de carne en fincas de la región Pacífico de Costa Rica, para obtener el mismo ingreso neto anual por finca con distintas tecnologías forrajeras y dos niveles de productividad de carne.

	Tecnología			
	Pasto jaraguá (200 kg/ternero)	Pastura mejorada* (200 kg/ternero)	Pastura mejorada (230 kg/ternero)	Cambio ^b (%)
Area (ha):				
Pasturas	30	27.3	15.9	-9 (-47)
Conservación	0	2.7	14.1	+9 (+47)
Ingreso neto/año (US\$):				
Finca	1292	1292	1294	0 (0)
Hectárea	43	47	81	+9 (+88)
Producción (kg/ha):				
Leche	NA ^c	NA	NA	NA
Carne	157	263	280	+67 (+78)
Carga (UA/ha)	0.87	1.45	1.41	+67 (+62)
Costo de producción (US\$/kg):				
Leche	NA	NA	NA	NA
Carne	1.06	1.15	1.07	+8 (0)
Uso de recursos:				
Jornales (no.)	134	258	149	+93 (+11)
Vacas (no.)	22	33.5	19	+52 (-14)
Capital (US\$)	14,660	26,691	15,187	+82 (+4)

a. Pastura mejorada: *B. brizantha* + *A. pintoi* y *C. argentea*.

b. Valores entre paréntesis indican el cambio porcentual para el nivel de productividad de 230 kg/ternero destetado.

c. No aplica.

asociada *B. brizantha* + *A. pintoi* y 233% más jornales que el pasto jaraguá.

De la misma manera, en sistemas de doble propósito con lactancias de 1000 kg de leche y mano de obra estimada en US\$10 por día, la pastura asociada y *C. argentea* generan 45% más ingreso que el pasto jaraguá. Sin embargo, en la medida en que el costo de la mano de obra se incrementa por encima de US\$13 por día, con estas bajas productividades el pasto jaraguá comienza a ser la mejor opción. Si la productividad aumenta de 1000 a 1500 kg por lactancia, el uso de gramíneas y leguminosas mejoradas resulta más rentable que el pasto jaraguá con todos los valores de mano de obra evaluados.

Adicionalmente, se estimaron los beneficios y costos de los procesos de

intensificación en los tres sistemas de producción animal para liberar áreas destinadas a conservación. Con las productividades medias reportadas en la zona para cada sistema de producción, la intensificación libera áreas significativas de las fincas, que van desde 9% para sistemas de producción de carne hasta 35% para sistemas de doble propósito, pero en todos los casos se incrementa el costo unitario de producción —desde 3% para la actividad de doble propósito hasta 8% para las actividades de carne y leche. Para obtener el mismo ingreso anual por finca con menos área y sin incrementar el costo unitario de producción, es necesario que las nuevas alternativas forrajeras no sólo permitan el incremento de la carga animal, sino también la productividad por vaca en 10% o más.

Estos resultados demuestran que la utilización de gramíneas y leguminosas mejoradas es una tecnología exitosa en la medida en que se use con el genotipo animal adecuado que responda con mayor productividad. El solo hecho de que las pasturas mejoradas aumenten la carga animal, podría no ser suficiente para que esta alternativa sea rentable. Asimismo, y en países como Costa Rica donde la mano de obra aumenta anualmente en términos reales y a la vez es escasa, su disponibilidad y costo son claves para determinar el grado de adopción y aceptabilidad por parte del productor (Ruiz et al., 1994).

Referencias

- Bazill, J.; Wyeth, J.; Hidalgo, C.; y Méndez, A. 1994. Informe Técnico: Resultados del sondeo participativo realizado en 1993. Proyecto Reforestación en Fincas Ganaderas. Convenio ODA/MAG/MIRENEM. Esparza, Costa Rica.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1995. Proyecto Sistemas Agrosilvopastoriles para el Trópico Húmedo. Informe final Fase III. Convenio CATIE/CIID. Turrialba, Costa Rica.
- Centro Científico Tropical. 1994. Estudio de Zonificación Agropecuaria en la Región Pacífico Central. Convenio MAG-MIDEPLAN. Dirección de Planificación de Uso de la Tierra. San José, Costa Rica.
- Dirección General de Estadística y Censos. 1975. Ministerio de Economía, Industria y Comercio. Censo Agropecuario 1973. San José, Costa Rica.
- _____. 1987. Ministerio de Economía, Industria y Comercio 1984. San José, Costa Rica.
- Griffith, K. y Zepeda, L. 1994. Farm level trade-offs of intensifying tropical milk production. *Ecol. Econ.* 9:121.
- Holmann, F.; Estrada, R. D.; Romero, F. y Villegas, L. A. 1992. Technology adoption and competitiveness in small milk-producing farms in Costa Rica: A case study. *J. Livestock Res. Rural Develop.* 4(1).
- _____. y Montenegro, J. (eds). 1994. Datos macroeconómicos de Costa Rica con énfasis en el sector agropecuario 1970-1993. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.
- Ruiz, M. E.; Holmann, F.; y Villegas, L. E. 1994. Dairy development in Costa Rica: A case study. En: 24th International Dairy Congress 1994. Melbourne, Australia.

**METODOLOGÍAS PARA CARACTERIZAR EL
USO DE LA TIERRA, LA PARTICIPACIÓN
DE LOS PRODUCTORES, Y MEDIR
LA ADOPCIÓN Y EL IMPACTO
DE NUEVAS TECNOLOGÍAS**

Clasificación de Sistemas de Producción Animal

M. E. Ruiz*

Resumen

Se presenta una propuesta de clasificación de los sistemas pecuarios en América Latina, considerando la relación existente entre la producción animal y el ambiente. Se presentan 11 zonas ecológicas resultantes de la división del sistema de producción en confinamiento en zonas para rumiantes y para monogástricos. Se estima que el sistema propuesto por Steinfeld y Mäki-Hokkonen (1995) es lógico y permite el análisis a nivel de sistemas de las tendencias y la formulación de recomendaciones para la investigación pecuaria, la planeación y el desarrollo de programas. Se presentan algunas definiciones de los sistemas identificados y una breve descripción de ellos. América Latina y el Caribe participan sólo con el 7.8% de la carne total producida en el mundo en sistemas mixtos a nivel de finca. Sin embargo, estos sistemas, incluyendo los silvopastoriles y agrosilvopastoriles, se están convirtiendo rápidamente en el objetivo de muchos esquemas de investigación y desarrollo en la región. Hay varias razones para este cambio, siendo las más importantes las siguientes: (1) La mayoría de las fincas en América tropical está en manos de pequeños productores, que contribuyen con aproximadamente la mitad de todos los productos pecuarios. (2) Diversos estudios indican que las fincas pequeñas y medianas en América Central están ligadas con la producción de bovinos de doble propósito. (3) En la mayoría de casos, los sistemas de doble propósito están asociados con sistemas de cultivo, lo que refleja una estrategia de los agricultores para minimizar los riesgos. (4) Varios estudios indican que el pequeño agricultor es más eficiente en el uso de recursos que los grandes terratenientes, debido a la mayor disponibilidad de forrajes por unidad de área en el primer caso. (5) Los sistemas mixtos tienden a un menor uso de insumos externos; es decir, requieren menos apoyo energético por hectárea o por unidad animal. Con base en las consideraciones del estudio se puede afirmar que en América Latina tropical y el Caribe predominan cuatro sistemas de producción con bovinos de doble propósito: (1) pasturas de regiones tropicales y subtropicales húmedas y subhúmeda, donde la ganadería es la única actividad; (2) sistemas mixtos agricultura-ganadería de secano en zonas

* Ph.D., Secretario Ejecutivo de la Red de Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Animal en América Latina (RISPAL), Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Apartado 4830, Managua, Nicaragua.

tropicales de altura; (3) sistemas mixtos agricultura-ganadería de secano en zonas tropicales húmedas y subhúmedas; y (4) sistemas mixtos agricultura-ganadería de secano en zonas tropicales áridas y semiáridas. De estos sistemas, el último tiene la menor importancia en términos cuantitativos o número de animales.

Introducción

El crecimiento de la población continúa aumentando la demanda de alimentos y otros productos provenientes del sector rural, a la vez que está incrementando la presión sobre los recursos naturales utilizados para satisfacer dicha demanda. Conjuntamente con el crecimiento de la población, los aumentos en los ingresos se traducen en una mayor demanda de alimentos de origen animal. En consecuencia, el uso de la tierra está siendo afectado, en algunos casos, por la intensificación de los sistemas de producción animal y, en otros, por la expansión de tales sistemas hacia nuevas fronteras agrícolas, aunque esto no necesariamente sea lo más adecuado. A medida que las actividades pecuarias se han extendido a zonas marginales y algunas de las tierras tradicionalmente utilizadas se están agotando, los efectos perjudiciales en el ambiente son notorios y la productividad se está reduciendo. Indudablemente, existe un gran consenso acerca de la necesidad de un manejo apropiado de los recursos naturales y el ambiente, especialmente si se tiene como objetivo alcanzar mayor eficiencia, equidad y sostenibilidad.

América Latina y el Caribe se caracterizan por sus recursos naturales abundantes y por la contribución de la ganadería a la economía de la mayoría de las familias campesinas. Aproximadamente, el 35% del producto doméstico agrícola es de origen pecuario y la mayoría de la tierra (76%) se utiliza para pastoreo. Esta amplia extensión hace que la región sea la fuente más

importante del suministro de carne —equivalente al 39% del total de la carne que se produce en el mundo bajo sistemas de pastoreo. En términos de producción de leche, la región produjo en 1994 sólo el 17% del total en el mundo debido, en parte, a la utilización de vacas con baja capacidad productiva. La utilización de pasturas, residuos de cultivos y productos de origen agrícola para mantener la producción animal varía según el sistema empleado, el cual, a la vez, es afectado por la organización social, la forma de tenencia de la tierra, las políticas agrícolas, las características ecológicas, los mercados y la infraestructura de transporte, las estructuras de precio, la proximidad a los centros urbanos, el nivel de educación, el apoyo técnico y la disponibilidad de crédito, para citar sólo los factores más importantes. En la mayoría de los casos, tales factores no operan de una manera independiente; más bien, presentan una alta interacción.

Este artículo trata sobre las implicaciones de la investigación y las oportunidades que resultan del examen de los principales sistemas de producción ganadera en el trópico, con base en la propuesta de un procedimiento de clasificación.

Cambios en Retos y Actitudes

En las últimas 3 décadas han ocurrido cambios significativos en la manera cómo la sociedad en general y los investigadores, agentes de extensión, planificadores y productores en particular miran el sector

ganadero. En la década de los 70, el cambio principal se inició con la forma cómo los investigadores afrontaron el reto de desarrollar tecnologías para producir más carne, leche y lana; el enfoque tradicional que buscaba maximizar la producción cedió el campo a la introducción gradual de un enfoque holístico en la región, mediante el cual el trabajo interdisciplinario y la participación de los agricultores adquirieron mayor importancia (Ruiz, 1994). Este nuevo enfoque requirió el desarrollo de metodologías apropiadas a los componentes de los sistemas de producción basados en el animal y, quizás, debido a la naturaleza de esta tarea, el enfoque empezó a ganar adeptos, atrayendo con éxito la imaginación y el entusiasmo de los investigadores, al mismo tiempo que despertó un sentido de responsabilidad hacia la sociedad y, en particular, a la población rural.

En la década de los 80 surgieron críticas al enfoque de sistemas, debido, principalmente, al exceso de expectativas y a las debilidades institucionales en la solución de problemas a nivel del productor, los cuales eran complejos y necesitaban de una alta capacidad de análisis (Li Pun et al., 1995). Las redes de investigación demostraron su efectividad para tratar estas limitaciones, mediante el estímulo de la colaboración interinstitucional y la optimización de la experiencia técnica encontrada en diversos grupos de científicos. Sin embargo, la fatiga de los donantes, las limitaciones de fondos disponibles, la persistente debilidad en los vínculos investigación-extensión, el vacío de retroalimentación entre investigación y formulación de políticas, y la lentitud en la generación de una tecnología efectiva atentaron contra el enfoque de sistemas.

Con la aparición de nuevas preocupaciones sobre el desarrollo, en el comienzo de la década de los 90 los

investigadores en ciencias animales se encontraron ante un reto bastante amplio: Desarrollar tecnologías no sólo para aumentar la producción, sino también para un uso más eficiente de los recursos e insumos, con la seguridad de que tales tecnologías contribuirán a la protección de los recursos naturales y mantendrán las oportunidades de las generaciones futuras. Para algunos, esta meta puede parecer una contradicción, ya que los rumiantes son vistos como los culpables de varios efectos nocivos sobre el medio ambiente; en efecto, la lógica predominante en los últimos 8 años ha sido la de reducir la producción animal para resolver el problema de destrucción forestal (Simpson y Conrad, 1994). Sin embargo, cada vez se comprende mejor cómo los sistemas pecuarios manejados adecuadamente pueden desempeñar un papel importante en el desarrollo sostenible de los sistemas de uso de la tierra (Hart y Sands, 1995).

Hart y Sands (1995) sostienen que el desarrollo de sistemas sostenibles de uso de la tierra deben fundamentarse en las relaciones finca-ambiente. Los agricultores adoptarán insumos o tecnologías agrícolas si son económicamente viables, independientemente de su efecto sobre el ambiente. Por otra parte, el desarrollo de sistemas de producción económicamente viables que degradan los recursos naturales hasta el punto que disminuyen la productividad de éstos no se pueden considerar como sostenibles, a menos que la sociedad esté de acuerdo en subsidiarlos mediante la adquisición de insumos externos. Los sistemas de producción extensivos que impiden la regeneración de los recursos naturales pueden ser económicamente viables en el corto plazo, pero la riqueza que generan estos sistemas son, en efecto, un préstamo solicitado a las generaciones futuras.

Propuesta de Clasificación de los Sistemas Pecuarios

Si se acepta que existe una relación estrecha entre la producción animal y el ambiente, es lógico buscar una clasificación de sistemas pecuarios que considere este vínculo. En el pasado, los intentos de una clasificación de este tipo, revisados por Steinfeld y Mäki-Hokkonen (1995), no se basaron en criterios cuantitativos, reflejando la falta de datos apropiados a nivel de país. Por ejemplo, una primera aproximación de la clasificación de sistemas de producción de leche realizada por Seré (1983) reconoció los ecosistemas de trópico de altura y de tierras bajas. Con base en esta división, Holmann (1990) estimó la distribución del ganado de leche en América Latina (Cuadro 1).

Una aproximación más completa a una clasificación de los sistemas de producción pecuarios ha sido desarrollada por Steinfeld y Mäki-Hokkonen (1995). Esta clasificación se basa en los criterios siguientes:

(1) integración con cultivos, (2) relación de los sistemas con el uso de la tierra, y (3) relación de los sistemas con una zona agroecológica. La estructura de la clasificación propuesta se presenta en la Figura 1.

Cuadro 1. Distribución estimada de los sistemas de producción de ganado lechero en América Latina tropical y subtropical.

Zona ecológica	Ganado (%)	Sistema de producción
Tierras bajas		
Secas ^a	50	Doble propósito
Húmedas ^b	30	Doble propósito
Altura ^c	20	Lecherías especializadas

a. Precipitación anual entre 600 y 1000 mm, 27 °C, < 1000 m.s.n.m.

b. Precipitación anual >1000 mm, 27 °C, < 1000 m.s.n.m.

c. Precipitación anual entre 600 y 1000 mm, 20 °C, > 1000 m.s.n.m.

FUENTE: Holmann (1990).

Una simplificación de la dimensión ecológica dio lugar a 10 zonas agroecológicas. En la Figura 1 se presentan 11 zonas ecológicas resultantes de la división del sistema de producción que no demanda tierra (confinamiento) en dos: zonas para rumiantes y zonas para monogástricos. Debido a falta de datos específicos por países y por ecosistemas sobre la población animal, las tierras en pasturas, el objetivo de la producción pecuaria y el grado de asociación con cultivos, Steinfeld y Mäki-Hokkonen (1995) hicieron varias suposiciones y promediaron algunos factores; sin embargo, el sistema propuesto parece lógico, es simple, y permitirá el análisis a nivel de sistemas de las tendencias y la formulación de recomendaciones para la investigación pecuaria, la planeación y el desarrollo de programas. En el Cuadro 2 se presentan algunas definiciones de los sistemas identificados en la Figura 1, y en el Cuadro 3 se presenta una breve descripción de los 11 sistemas de producción.

Clasificación de Sistemas de Producción con Rumiantes en América Latina

Con base en el sistema de clasificación propuesto por la FAO (Steinfeld y Mäki-Hokkonen, 1995), los sistemas de producción pecuaria prevalentes en América Latina y el Caribe se pueden relacionar con el uso de la tierra y los ecosistemas principales. Las Figuras 2 y 3 muestran una aproximación que sólo requiere de información cuantitativa para su evaluación y análisis completos.

Aunque en la región existen sistemas de producción en confinamiento —que no demandan tierra— como algunas lecherías y lotes de engorde en zonas próximas a los perímetros urbanos, éstos no se tienen en cuenta debido a que su incidencia es mínima. Los sistemas de producción animal asociados con tierras bajo riego tampoco se consideran significativos, aunque en el futuro estos sistemas podrían ganar espacio.

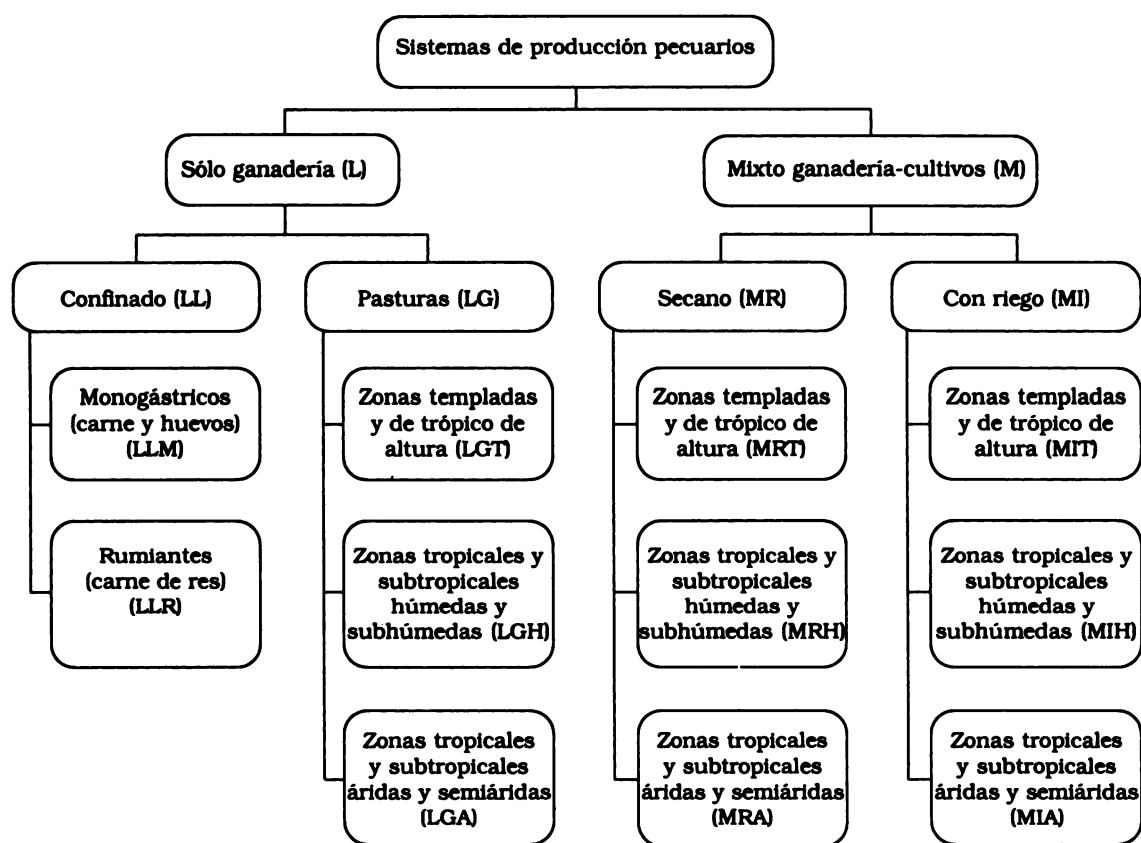


Figura 1. Clasificación de sistemas de producción pecuarios.

FUENTE: Steinfeld y Mäki-Hokkonen (1995).

Los sistemas de pastoreo son los principales en la región, debido a la vasta extensión en pasturas (más de 550 millones de hectáreas), la baja densidad de la población, el grado relativamente alto de urbanización y el predominio de bovinos. La importancia de estos sistemas, a pesar de su bajo nivel de productividad, se ilustra en la Figura 4.

El crecimiento demográfico, el aumento del ingreso per cápita, la alta demanda de productos pecuarios y las consideraciones sobre el ambiente que impiden la expansión de la frontera agrícola, son factores principales para la intensificación y diversificación de los sistemas pecuarios. Aun en las extensas sabanas, los sistemas

mixtos de explotación en fincas se están convirtiendo en una opción práctica, donde los cultivos y las pasturas pueden utilizarse en una base rotacional apoyada por las nuevas tecnologías e infraestructuras de comunicación (Thomas et al., 1992).

América Latina y el Caribe participan sólo con el 7.8% de la carne total producida en el mundo en sistemas mixtos a nivel de finca. Sin embargo, estos sistemas, incluyendo los silvopastoriles y agrosilvopastoriles, se están convirtiendo rápidamente en el objetivo de muchos esquemas de investigación y desarrollo en la región. Hay varias razones para este cambio, siendo las más importantes las siguientes:

Cuadro 2. Definiciones de los sistemas generales de producción pecuarios presentados en la Figura 1.

Categoría principal	Subcategoría	Definición
Sólo ganadería (L)		Sistemas de producción en los cuales más del 90% de la MS suministrada a los animales proviene de pasturas, forrajes anuales o concentrados, y menos del 10% del valor total de la producción proviene de actividades en la finca, diferentes de la ganadería.
	Sistemas de producción pecuaria que no demandan tierra (confinamiento) (LL)	Subconjunto en el cual menos del 10% de la MS utilizada para alimentar los animales es producida en la finca y en el cual el promedio anual de la carga animal es mayor de 10 UA/ha de tierra agrícola.
	Sistemas basados en pasturas (LG)	Subconjunto en el cual más del 10% de la MS utilizada para alimentar los animales es producida en la finca y en el cual el promedio anual de la carga animal es menor de 10 UA/ha de tierra agrícola.
Sistemas mixtos (M)		Sistema en el cual más del 10% de la MS utilizada para alimentar los animales proviene de residuos de cosechas o de rastrojos, o más del 10% del valor total de la producción proviene de actividades en la finca no relacionadas con ganadería.
	Sistemas de producción de secano (MR)	Subconjunto en el cual más del 90% del valor de la producción de alimentos diferente de la ganadería proviene del uso de la tierra en la época de lluvias.
	Sistemas bajo riego (MI)	Subconjunto en el cual más del 10% del valor de la producción de alimentos diferente de la ganadería proviene del uso de tierra bajo irrigación.

FUENTE: Steinfeld y Mäki-Hokkonen (1995).

1. La mayoría de las fincas en América tropical está en manos de pequeños productores, quienes a pesar de poseer una parte muy pequeña de la tierra cultivable, contribuyen con aproximadamente la mitad de todos los productos pecuarios. Por ejemplo, en Colombia, los pequeños agricultores que poseen fincas entre 1 y 15 ha constituyen el 70% de la población rural, utilizan el 15% del área rural total y contribuyen con el 50% de la producción de alimentos (Preston y Murgueitio, 1992). En Costa Rica, el 85% de las fincas miden entre 1 y 29 ha (CATIE, 1985).
2. Diversos estudios realizados por RISPAL indican que las fincas pequeñas y medianas en América Central están ligadas con la producción de bovinos de doble propósito.
3. En la mayoría de casos (73% en Costa Rica), los sistemas de doble propósito están asociados con sistemas de cultivo, lo que refleja una estrategia de los agricultores para minimizar los riesgos (Ruiz, 1990).

Cuadro 3. Principales características de los sistemas de producción incluidos en la Figura 1.

Subcategoría	Sistema de producción	Características
Sistemas de producción que no demandan tierra (confinamiento) (LL)	Monogástricos, sin tierra (LLM)	Las especies de monogástricos, especialmente pollos y cerdos, se alimentan con insumos producidos fuera de la finca. Es un sistema abierto en el cual las decisiones de suplementar son independientes de la producción de alimentos. El sistema compite por el mercado urbano con aquellos que utilizan la tierra, existiendo un punto de interacción entre ellos. Además, como en este sistema es común el uso de cereales, también interactúa con los rumiantes en el uso de los recursos de la tierra.
	Rumiantes, sin tierra (LLR)	Se utilizan rumiantes, principalmente ganado que se alimenta con henos provenientes de sistemas externos a la finca. Ejemplos son los lotes de engorde "feedlots" para producción de carne de ternera. Implican alta demanda de capital, alimentos y mano de obra. Están ligados con los sistemas basados en el uso de la tierra, los cuales les proveen los animales jóvenes.
Sistema de producción basado en pasturas (LG)	En pasturas de zonas templadas y de trópico de altura (LGT)	La principal limitante es la baja temperatura, particularmente en la zona templada (< 5 °C durante 1 ó 2 meses). En el trópico de altura de América Latina se encuentran sistemas que incluyen vacas lecheras, camélidos y ovinos. Las condiciones de mercado y el ambiente limitan el potencial de intensificación de estos sistemas.
	En pasturas de zonas tropicales y subtropicales húmedas y subhúmedas (LGH)	Caracterizado por un periodo de crecimiento mayor de 180 días. La falta de acceso a los mercados limita la producción de cultivos. Se encuentra en la mayoría de las regiones tropicales y subtropicales de las tierras bajas de América del Sur y en algunas partes de México y América Central, donde son típicos los sistemas de doble propósito. El sistema está orientado hacia el mercado. Existe una tendencia hacia los sistemas mixtos de producción.
	En pasturas de regiones tropicales y subtropicales áridas y semiáridas (LGA)	Caracterizado por un periodo de crecimiento menor de 180 días y prevalencia de especies de rumiantes. Se presenta en el norte de México, nordeste de Brasil, en la costa del Perú y en pequeñas áreas de América Central y el Caribe. Es frecuente la explotación de cabras y, en algunos casos, hay presión de los sistemas de cultivo bajo riego.

(Continúa)

Cuadro 3. (Continuación).

Subcategoría	Sistema de producción	Características
Sistemas mixtos de producción de secano (MR)	Sistemas de producción de secano en zonas templadas y trópico de ladera (MRT)	Existe una combinación entre ganadería y cultivos. Por lo menos, el 10% del valor de la producción de la finca proviene de cultivos. Se encuentra en los países andinos, México y parte de América Central. Es el sistema más importante en el mundo (provee el 39% de la carne vacuna, el 24% de la carne de cordero y el 63% de la leche). La ganadería tiende a ser de doble o triple propósito y las oportunidades para su mejoramiento dependen de la intensificación de los sistemas agrícola y ganadero y del uso de la tierra.
	Sistemas de producción de secano en zonas húmedas y subhúmedas del trópico y subtrópico (MRH)	Es un sistema ampliamente difundido. Incluye pequeños productores, así como operaciones a gran escala en el Cerrado del Brasil. La alta temperatura y la humedad limitan la introducción de razas europeas. Son comunes los cruces con Cebú, las cabras y los ovinos. Los sistemas de producción de doble propósito son importantes entre los pequeños productores y el ganado de carne en explotaciones grandes. Este sistema está siendo reemplazado gradualmente por sistemas en pastoreo.
	Sistemas de producción de secano en zonas áridas y semiáridas del trópico y subtrópico (MRA)	Presenta un período de crecimiento inferior a 180 días. La principal limitación es la escasa producción primaria debido a la baja precipitación. A medida que esta limitante es mayor, los cultivos pierden importancia y la ganadería se vuelve predominante. La ganadería asociada con este sistema incluye cabras y ovinos. El sistema no es muy importante en América Latina, no obstante, existen algunos sistemas en México (Comarca Lagunera). El sistema interactúa con aquel basado en pasturas de regiones tropicales y subtropicales áridas y semiáridas (LGA); a medida que la presión de la población crece, este último sistema tiende a evolucionar hacia sistemas mixtos, principalmente hacia sistemas de producción estacional en zonas áridas (MRA). La escasez de recursos limita la intensificación de este sistema. El desarrollo sostenible de estas regiones depende de estrategias alternativas de desarrollo y de la reducción de la presión demográfica.
Sistemas mixtos bajo irrigación	Sistemas mixtos en zonas templadas y trópico de altura (MIT)	Los principales productos son carne, leche y lana. Este sistema no es importante en América Latina.
	Sistemas mixtos en zonas húmedas y subhúmedas del trópico y subtrópico (MIH)	Particularmente importante en Asia, pero no en América Latina.
	Sistemas mixtos en zonas áridas y semiáridas del trópico y subtrópico (MIA)	La irrigación permite el cultivo intensivo a través del año. Se puede encontrar en México en forma de lecherías intensivas basadas en el uso de alfalfa y maíz. Tradicionalmente, la producción de cultivos bajo irrigación es la principal fuente de ingresos, mientras que la ganadería tiene un papel secundario.

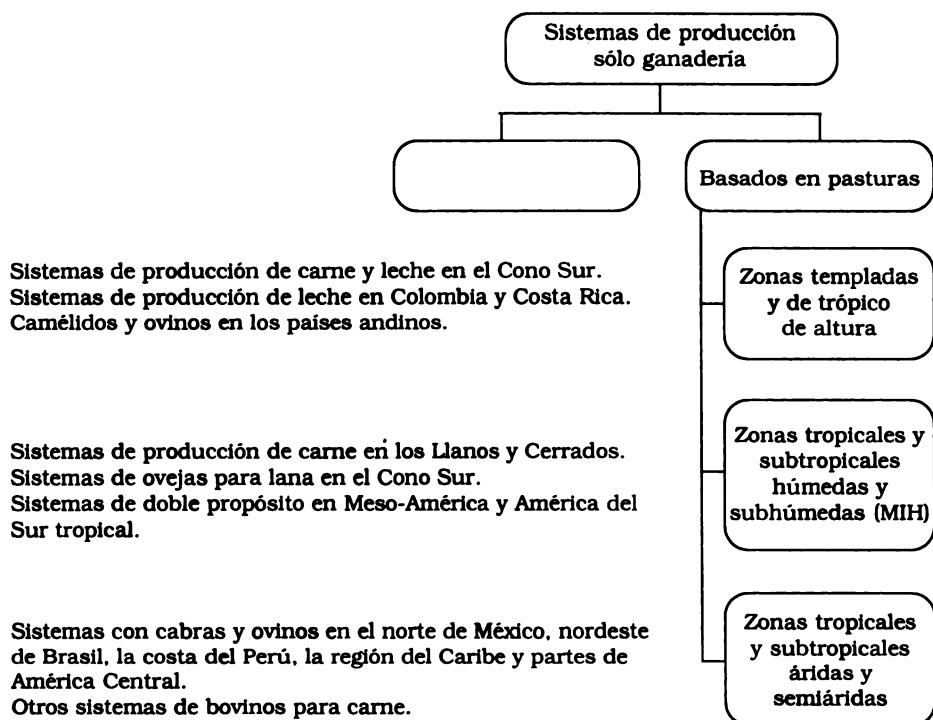


Figura 2. *Sistemas de producción de rumiantes en pasturas de América Latina y el Caribe y su relación con las zonas agroecológicas.*

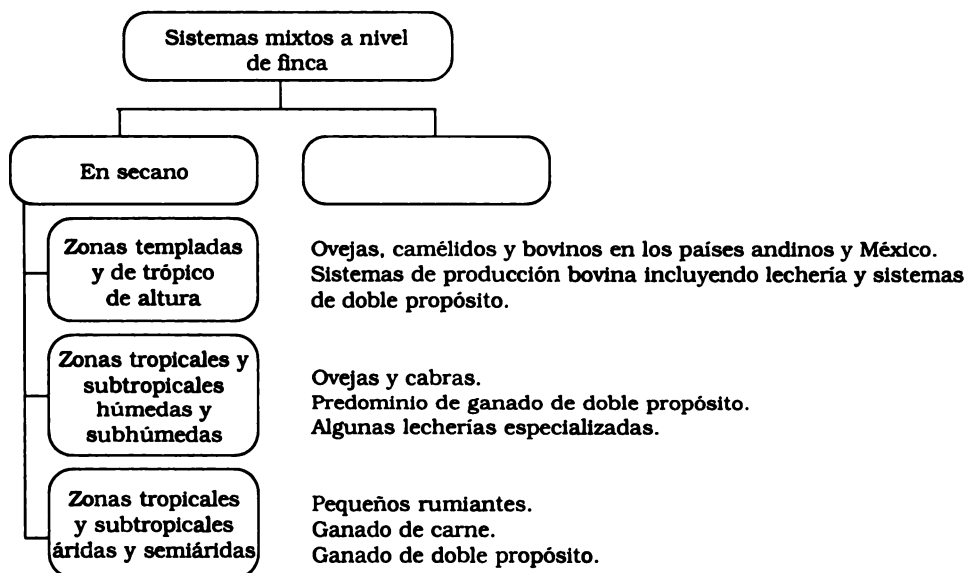


Figura 3. *Sistemas cultivo-ganadería en América Latina y el Caribe y su relación con las zonas agroecológicas de secano.*

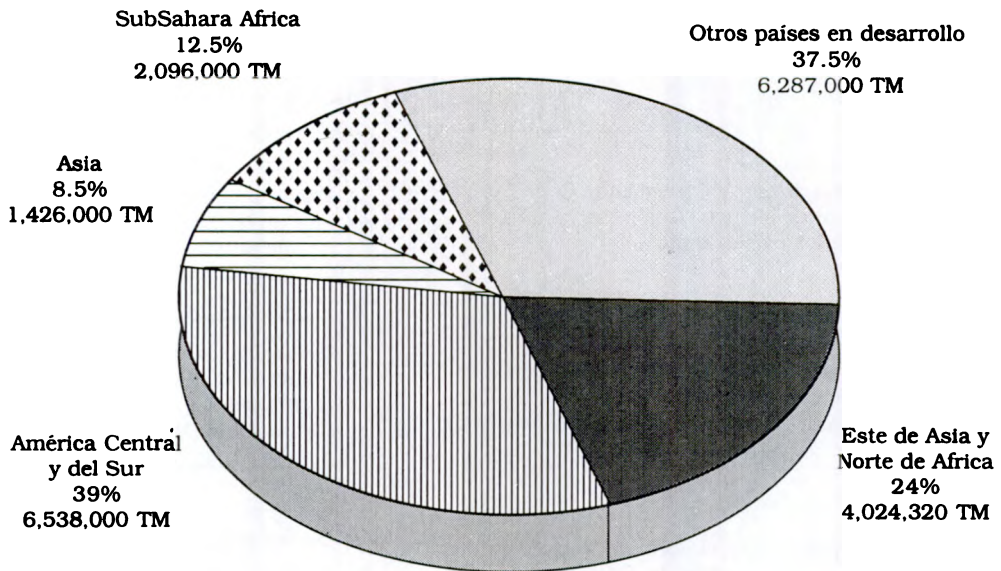


Figura 4. Producción total de carne en sistemas de pastoreo en diferentes regiones del mundo.

FUENTE: Steinfeld y Mäki-Hokkonen (1995).

4. Varios estudios (CATIE, 1982) indican que el pequeño agricultor es más eficiente en el uso de recursos que los grandes terratenientes, debido a la mayor disponibilidad de forrajes por unidad de área en el primer caso (Solera, 1981, citado por Leonard, 1987) y el uso de residuos de cosecha y subproductos (CATIE, 1982).
5. Los sistemas mixtos tienden a un menor uso de insumos externos, es decir, requieren menos apoyo energético por hectárea o por unidad animal (Wagstaff, 1987).

Limitaciones y Oportunidades

Con base en las consideraciones anteriores se puede afirmar que en

América Latina tropical y el Caribe predominan cuatro sistemas de producción con bovinos de doble propósito: (1) pasturas de regiones tropicales y subtropicales húmedas y subhúmedas, donde la ganadería es la única actividad; (2) sistemas mixtos agricultura-ganadería de secano en zonas tropicales de altura; (3) sistemas mixtos agricultura-ganadería de secano en zonas tropicales húmedas y subhúmedas; y (4) sistemas mixtos agricultura-ganadería de secano en zonas tropicales áridas y semiáridas. De estos sistemas, el último tiene la menor importancia en términos cuantitativos o número de animales. En el Cuadro 4 se presentan las limitaciones y oportunidades para investigación y desarrollo de cada sistema.

Cuadro 4. Limitaciones y oportunidades de investigación en sistemas de producción de doble propósito en el trópico de América Latina y el Caribe.

Agroecosistema	Limitante principal	Oportunidades
Sólo ganadería, basada en pastoreo en zonas tropicales y subtropicales húmedas y subhúmedas.	Productividad de las pasturas y los animales. Parasitismo en animales. Acceso a mercados. Manejo y conservación de la leche.	Investigación en pasturas y nutrición. Mantenimiento o aumento de nutrimentos en el suelo. Selección por producción de leche, fertilidad y desempeño de los terneros en sistemas extensivos. Recolección y conservación de la leche. Opciones de valor agregado.
Sistemas mixtos agricultura-ganadería de secano en zonas tropicales de altura.	Ambientes vulnerables. Contaminación de aguas y presencia de sedimentos en embalses. Conocimiento insuficiente de las prácticas para el uso estratégico de residuos de cosechas y subproductos. Falta de conocimiento de los sistemas para intensificar la producción de leche.	Uso de modelos para estimar los daños ambientales y diseño de estrategias para minimizarlos. Desarrollo de sistemas silvopastoriles. Investigación sobre efectos aditivos y sustitutivos de alimentos no tradicionales en el uso de pasturas. Mejoramiento del manejo del hato para aumentar su productividad; por ej., dos ordeños diarios. Intensificación de sistemas. Capacitación de productores en el uso de tecnologías mejoradas.
Sistemas mixtos agricultura-ganadería de secano en zonas tropicales húmedas y subhúmedas.	Reducción de la producción en épocas excesivamente húmedas o secas. Ambientes vulnerables. Problemas de salud animal. Calidad y disponibilidad estacional de las pasturas. Competencia entre cultivos y ganadería por capital y mano de obra. Deforestación.	Alternativas para minimizar los efectos de las épocas muy húmedas y las secas. Evaluación y prevención de los daños en el ambiente. Desarrollo de sistemas agrosilvopastoriles. Investigación en pasturas. Intensificación de sistemas con mínimo uso de la tierra. Análisis de la cadena alimentaria. Políticas de investigación agrícola.
Sistemas mixtos agricultura-ganadería de secano en zonas tropicales áridas y semiáridas.	Deforestación. Poca oportunidad para la intensificación. Poco conocimiento sobre el uso de árboles y arbustos multipropósito.	Búsqueda de alternativas para el desarrollo. Investigación en sistemas silvopastoriles.

FUENTES: Seré y Rivas (1987); Ruiz (1990); Nicholson et al. (1994); Simpson y Conrad (1994); Viglizzo (1994); Vaccaro et al. (1995); Steinfeld y Mäki-Hokkonen (1995).

Referencias

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1982. Sistemas de producción bovina de doble propósito para pequeños productores del Istmo Centroamericano. Informe de progreso 1982. Turrialba, Costa Rica. 103 p.

_____. 1985. Proyecto de Sistemas de Producción Animal. Informe Final. Convenio CATIE/CIID. Turrialba, Costa Rica. 265 p.

Hart, R. D. y Sands, M. W. 1995. The role of livestock in the design of sustainable land-use systems. En: Ruiz, M. E.; Seré, C.; y Li Pun, H. (eds.). Animal Production Systems Global Workshop. San José, Costa Rica. IDRC, IICA-RISPAL. p. 373-384.

- Holmann, F. 1990. Grupos genéticos y sistemas de producción de leche en países tropicales: Experiencias en investigación y programas de desarrollo. International Development Research Centre (IDRC), Montevideo, Uruguay. (Mimeografiado.)
- Leonard, H. J. 1987. Recursos naturales y desarrollo económico en América Central: Un perfil ambiental regional. Budowski, G. y Maldonado, T. (trads.). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 268 p.
- Li Pun, H.; Seré, C.; y Devendra, C. 1995. IDRC experiences in the support of animal production systems research in developing countries. En: Ruiz, M. E.; Seré, C.; y Li Pun, H. (eds.). Animal Production Systems Global Workshop. San José, Costa Rica. IDRC, IICA-RISPAL. p. 279-298.
- Nicholson, C. F.; Lee, D. R.; Boisvert, R. N.; Blake, R. W.; y Urbina, C. I. 1994. An optimization model of the dual-purpose cattle production system in the humid lowlands of Venezuela. *Agric. Syst.* 46:311-334.
- Preston, T. R. y Murguettio, E. 1992. Strategy for sustainable livestock production in the tropics. Circulo Impresores, Cali, Colombia. 89 p.
- Ruiz, M. E. 1990. Milk production systems in Latin America. Constraints and potentials. En: 23th International Dairy Congress. Proceedings. 8-12 October 1990. Mutual Press, Montreal, Canadá. p. 171-187.
- _____. 1994. The systems approach to livestock research in Latin America: A methodology. En: Ruiz, M. E. (ed.). Social sciences and agricultural research: A systems approach. San José, Costa Rica. IDRC, INIA, IICA-RISPAL. p. 15-34.
- Seré, C. 1983. Primera aproximación a una clasificación de sistemas de producción lechera en el trópico sudamericano. *Prod. Anim. Trop.* 8:110-121.
- _____. y Rivas, L. 1987. The advantages and disadvantages of promoting expanded dairy production in dual purpose herds: Evidence from tropical Latin America. IFPRI Workshop on the Economics of Dairy Development in Selected Countries and Policy Implications. Copenhagen, Dinamarca.
- Simpson, J. R. y Conrad, J. 1994. Central American animal agriculture in relation to natural resources. *Agric. Syst.* 44:143-161.
- Steinfeld, H. y Mäki-Hokkonen, J. 1995. A classification of livestock production systems. *World Anim. Rev.* 84/85. (3-4):83-94.
- Thomas, R. J.; Lascano, C. E.; Sanz, J. I.; Ara, M. A.; Spain, J. M.; Vera, R. R.; y Fisher, M. J. 1995. The role of pastures in production systems. En: Pastures for the tropical lowlands: CIAT's contribution. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 121-144.
- Vaccaro, L.; Vaccaro, R.; Verde, O.; Mejías, H.; Ríos, L.; y Romero, E. 1995. Effect of environmental factors and breed group, and their interactions on performance of Venezuelan dual-purpose cows. *Trop. Agric. (Trinidad)* 72:146-151.
- Viglizzo, E. F. 1994. The response of low-input agricultural systems to environmental variability: A theoretical approach. *Agric. Syst.* 44:1-17.
- Wagstaff, H. 1987. Husbandry methods and farm systems in industrialized countries which use lower levels of external inputs: A review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 19:1-27.

Indicadores Económicos y Ambientales en Sistemas de Doble Propósito: Principios para su Selección

*P. C. Kerridge**

Resumen

El impacto de nuevas tecnologías sobre los parámetros ecológicos, económicos y sociales debe ser evaluado en términos de productividad, estabilidad (o variabilidad), resiliencia y equidad. Cuando las tecnologías están en desarrollo, los cambios afectarán primero a nivel de productor, pero si es exitosa ejercerá un efecto más generalizado a través de agroecosistema. Por tanto, las tecnologías deben ser económicamente viables, aceptables por los productores y la comunidad como un todo, y compatibles con el mantenimiento de los recursos de suelo y agua. Su impacto ambiental debe ser positivo y contribuir al aumento de la productividad integral del sistema. Estos cambios pueden ser monitoreados mediante el uso de indicadores apropiados, a nivel de la finca en particular y de agrosistema en general. Los indicadores deben incluir todos los criterios que permitan evaluar si un sistema de uso de la tierra es sostenible. Es decir, la nueva tecnología debe conducir a beneficios económicos y sociales así como a la reducción de la degradación del ambiente. Los sistemas de uso sostenible de la tierra deben ofrecer altos niveles de rentabilidad; de lo contrario no serán adoptados.

En este trabajo, primero se hace un resumen de diferentes alternativas para evaluar sistemas de uso sostenible de la tierra y se presentan algunos parámetros asociados con el impacto de los resultados del uso sostenible de la tierra a nivel de productor. Posteriormente, se sugiere un enfoque para la selección de indicadores que podrían ser utilizados para evaluar el impacto de nuevas tecnologías basadas en forrajes sobre la sostenibilidad de sistemas de producción pecuarios de doble propósito. Se sugiere un marco en el cual se consideran los recursos de un agroecosistema en términos de propiedades y dimensiones, y el comportamiento del sistema en términos de indicadores que describen el estado de un proceso (p. ej., la materia orgánica del suelo) o tasas de cambio a través del tiempo (p. ej., la tasa de pérdida de dicha materia).

* Líder, Proyecto Sistemas Sostenibles para Pequeños Agricultores, CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

Introducción

Uno de los objetivos del Consorcio Tropicche es desarrollar tecnologías basadas en forrajes mejorados con el fin de obtener sistemas para alimentación de ganado más productivos y que aseguren, al mismo tiempo, el uso sostenible de la tierra. Estas tecnologías deben satisfacer las necesidades de quienes actualmente utilizan la tierra, sin amenazar su capacidad de uso por las generaciones futuras. Por tanto, las tecnologías deben ser económicamente viables, aceptables por los productores y la comunidad como un todo, y compatibles con el mantenimiento de los recursos de suelo y agua. Su impacto ambiental debe ser positivo y contribuir al aumento de la productividad integral del sistema. Estos cambios pueden ser monitoreados mediante el uso de indicadores apropiados, a nivel de la finca en particular y de agrosistema en general.

Algunos criterios generales para desarrollar y escoger estos indicadores son su predictibilidad, facilidad de observación, sensibilidad a cambios y de amplia aplicación. Los indicadores deben incluir todos los criterios que permitan evaluar si un sistema de uso de la tierra es sostenible. Es decir, la nueva tecnología debe conducir a beneficios económicos y sociales, así como a la reducción de la degradación del ambiente. Los sistemas de uso sostenible de la tierra deben ofrecer altos niveles de rentabilidad; de lo contrario no serán adoptados.

En este trabajo, primero se hace un resumen de diferentes alternativas para evaluar sistemas de uso sostenible de la tierra y se presentan algunos parámetros asociados con el impacto de los resultados del uso sostenible de la tierra a nivel de productor. Posteriormente, se sugiere un enfoque para la selección de indicadores que podrían ser utilizados para evaluar el impacto de nuevas tecnologías basadas en forrajes sobre la sostenibilidad de sistemas de producción pecuarios de doble propósito.

La Sostenibilidad de Sistemas de Producción Agrícola

Marco de referencia

Hasta ahora se ha hecho referencia al uso de la palabra 'sostenibilidad'; no obstante, existen muchas definiciones de ella y la expresión tiende, en algunos casos, a ser mal utilizada. Es necesario señalar que en este caso se usa el término sostenibilidad para hacer referencia sólo a los recursos naturales y no a la agricultura como un todo.

Sin embargo, es difícil evitar la expresión 'sostenibilidad' en su sentido amplio. Müller (1995) hizo una revisión sobre indicadores de sostenibilidad y el uso de este término. En general, la agricultura sostenible es aquella que contribuye a un desarrollo integral, el cual, a su vez, es considerado de diferentes modos, según la perspectiva económica, ecológica o social de los autores.

El supuesto de que la nueva tecnología debe satisfacer las necesidades de quienes actualmente utilizan la tierra, sin amenazar su capacidad de uso por las generaciones futuras, revela una perspectiva ecológica. La frase: 'los sistemas de uso sostenible de la tierra deben ofrecer altos niveles de rentabilidad; de lo contrario no serán adoptados', sugiere un punto de vista económico. Por otra parte, los términos que hacen referencia al agotamiento de los recursos naturales para beneficio de unos pocos privilegiados, agregan una dimensión social. Estos diferentes conceptos de sostenibilidad han conducido a establecer el equilibrio necesario que debe existir entre las dimensiones económica, social y ambiental en el desarrollo de una comunidad, región o país (Figura 1).

Las definiciones de sostenibilidad agrícola también son variables. Se acepta, en general, que ésta incluye el mantenimiento del potencial de producción de los sistemas de producción. Sin

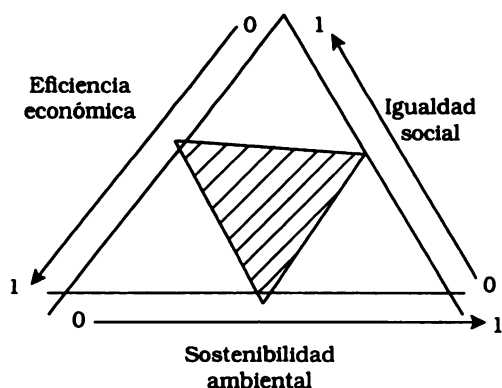


Figura 1. *Sostenibilidad es un equilibrio entre aspectos económicos, sociales y ambientales.*

FUENTE: Müller, 1995.

embargo, no existe un consenso sobre el grado en el cual se deben mantener los recursos naturales básicos en relación con el suelo y las especies vegetales y animales nativas. En consecuencia, gran parte del esfuerzo para definir sostenibilidad está dirigido a la necesidad de vigilar el acervo de recursos naturales. Esto ha sido intentado mediante: (1) el inventario de fuentes de recursos a nivel de país; (2) el análisis de los impactos ambientales de las tecnologías, utilizando medidas cualitativas; (3) el uso de modelos económicos y biológicos; y (4) el uso de indicadores ambientales.

El análisis de los impactos cualitativos es útil para concentrar la atención en aspectos ambientales en el desarrollo de nuevas tecnologías. La aplicación de los modelos económicos y ecológicos está restringida, muchas veces, por la calidad y cantidad de datos necesarios para su análisis. Por otra parte, los indicadores tienen mayor aplicación, lo que permite la integración de dimensiones ecológicas, económicas y sociales a diferentes escalas o niveles jerárquicos.

Los indicadores en los sistemas

Algunos autores como Müller (1995) han sugerido un marco en el cual se consideran los recursos de un agroecosistema en términos de propiedades y dimensiones, y el comportamiento del sistema en términos de indicadores que describen el estado de un proceso (p. ej., la materia orgánica del suelo) o tasas de cambio a través del tiempo (p. ej., la tasa de pérdida de dicha materia).

Recursos. Incluyen elementos como agua, suelo, aire, fauna, flora, capital humano, recursos financieros y aspectos estéticos del paisaje.

Propiedades. En ellas se consideran: (1) La productividad, por unidad de recurso. (2) La estabilidad, o variabilidad de la producción a través del tiempo. (3) La resiliencia, o resistencia a la influencia externa, que es la capacidad de un agroecosistema para mantener la productividad bajo estrés. (4) Equidad, o la forma como se comparten los beneficios y costos de producción.

En la Figura 2 se ilustra el concepto de resiliencia, o capacidad de un sistema para recuperarse de la influencia externa.

Cada una de estas propiedades puede ser representada por uno o más elementos; p. ej., la productividad podría tener elementos de comportamiento del suelo y los animales, y las dimensiones que se consideran son ecológicas, económicas y sociales.

Las interrelaciones entre propiedades y dimensiones de los indicadores de sostenibilidad se ilustran en la matriz que aparece en el Cuadro 1. En este caso sólo se incluye el comportamiento del sistema como único elemento. Otros elementos utilizados por Müller (1995) incluyen la tierra, el agua, la flora y la fauna, y los recursos financieros y humanos. El elemento tierra puede incluir indicadores de valor, propiedad, y características de suelo como materia orgánica, fertilidad,

Cuadro 1. Indicadores que pueden utilizarse a niveles de finca y cuenca para evaluar el impacto de nuevas tecnologías.

Dimensión	Ecológico			Económico			Social	
	Cuenca	Finca	Cuenca	Cuenca	Finca	Cuenca	Cuenca	Finca
Propiedad Productividad	Producción regional total. Producción por hectárea de cultivos, ganado.	Productividad agrícola - leche y carne - cultivos, fruto - madera.	Margen bruto por hectárea diferentes cultivos. Salarios de trabajadores.	Factor total de productividad. Margen bruto por hectárea. Ingreso/día de mano de obra familiar.	Ingreso del productor en la finca.	Razón de gastos domésticos a ingreso.		
Estabilidad	Fluctuación anual - producción de cultivos y ganado.	Fluctuación en disponibilidad forrajera y producción - mensual - anual.	Fluctuación en ingreso proveniente de productos agrícolas.	Variación en ingreso de cultivos en relación con precios para productos e insumos. Variación en ingreso familiar. Ingreso por ganadería en relación con ingreso total.	Fluctuación en ingresos del productor en la finca.	Diferencia entre ingreso real con el transcurso del tiempo.		
Resiliencia	Relación entre capacidad de uso de la tierra y uso actual. Porcentaje de tierra con medidas adecuadas de conservación de suelos.	Proporción de finca sembrada con árboles y leguminosas. Pérdida de especies útiles o invadidas por malezas después de un evento de estrés.	Insumos externos como proporción de total insumos.	Insumos externos como proporción del total de insumos. Importancia del ingreso agrícola.	Gastos familiares por año en salud y en educación.	Reserva financiera. Educación. gasto/año por cada miembro de la familia.		
Equidad	Por ciento de que agricultores con acceso a caminos.	Participación de ingreso entre agricultores e intermediarios.	Prioridad para uso de ingreso por diferentes miembros.	Coefficiente de ingresos generados por el productor en la propia finca.	Tiempo libre de miembro familiares individual.			

FUENTE: Müller, 1995.

estructura, reciclado de nutrientes y relación producto:insumo.

Este tipo de representación es útil para observar la interacción entre dimensiones y propiedades. La productividad es la propiedad más importante en la dimensión económica, la resiliencia en la ecológica y la equidad en la social. Quizás no sea necesario, o aun realista, completar la matriz en su totalidad. Algunos elementos de equidad se pueden evaluar a nivel de cuenca o agrosistema, y otros a nivel de finca.

A nivel de finca es importante seleccionar indicadores de sostenibilidad que tengan algún significado para los productores y que pueden ser aplicados por ellos. Por tanto, puede ser preferible, p. ej., seleccionar, como una medida de fertilidad del suelo, la cantidad de forraje verde que rebrota después de la época seca, en lugar de

seleccionar la cantidad de nitrógeno disponible, que requiere un análisis químico. Actualmente, los científicos están trabajando con los agricultores para conocer sus métodos originales de medición de productividad y sostenibilidad.

El término estabilidad, tal como lo define Müller (1995), es un poco confuso. Para muchas personas, los términos estabilidad y resiliencia tienen un significado similar. Müller utiliza el término estabilidad en el sentido de variabilidad. Sin embargo, la variabilidad de la producción a través del tiempo puede ser el resultado de la reducción en el acervo de recursos naturales en finca, p. ej., reducción en la fertilidad del suelo, o puede deberse a variabilidad natural en la precipitación. Este ejemplo muestra la dificultad que existe para llegar a un acuerdo en el uso de la terminología.

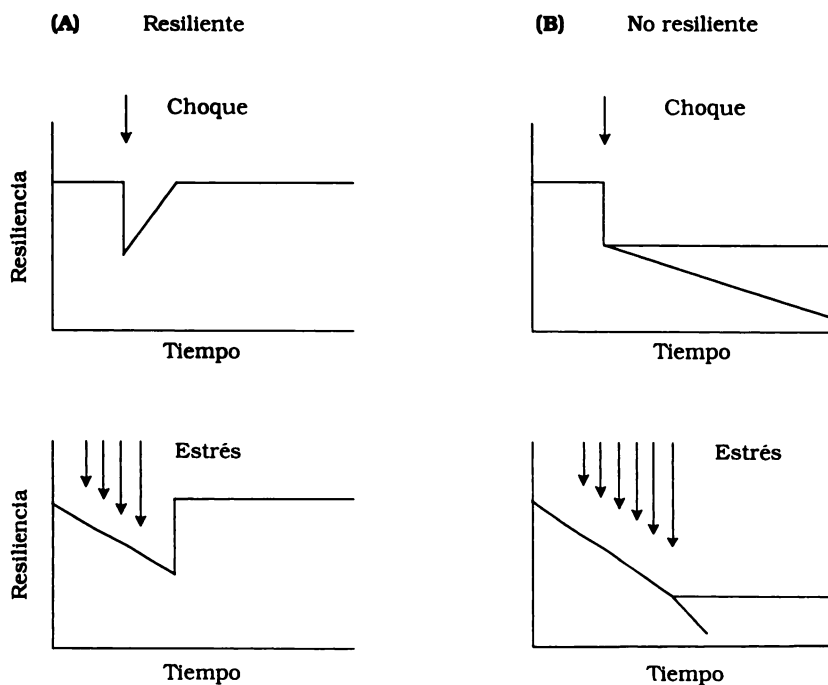


Figura 2. (A) Sistema resiliente que se recupera de un estrés y (B) sistema no resiliente que no se recupera plenamente después de un estrés.

FUENTE: Müller, 1995.

En 1995, la FAO en el estudio del impacto de la ganadería sobre el ambiente propuso un sistema alternativo de indicadores de sostenibilidad. En él se consideraron indicadores clave en términos del tipo de impacto (directo o indirecto) sobre las condiciones físicas, biológicas y socioeconómicas de diferentes ecosistemas (Cuadro 2). Sin lugar a dudas, estos indicadores son de una naturaleza más general que aquellos sugeridos por Müller (1995) para un agroecosistema específico.

En todas las propuestas sobre indicadores de sostenibilidad se acepta que debe existir continuidad entre categorías (a nivel de finca, cuenca, nación y región). La continuidad y la coherencia de los indicadores utilizados a través de las diferentes escalas o niveles, los cuales deben ser fácilmente cuantificados e incorporados en bases de datos, permitirá la realización de los estudios de tendencias a través del tiempo y las predicciones para facilitar los trabajos de planeación nacional. Sin embargo, en la práctica es probable que la selección de indicadores varíe a través de ecorregiones y sistemas de producción.

Debido a que la investigación en el uso de indicadores se encuentra aún en desarrollo, es necesario seleccionar indicadores apropiados que pueden utilizarse para evaluar el impacto de las tecnologías que

actualmente están en desarrollo para agroecosistemas específicos.

Criterios para la Selección de Indicadores

Los criterios deseables para la selección de indicadores son: (1) fáciles de medir y que presenten una adecuada relación costo-beneficio; (2) sensibles a cambios en el estado de un elemento; (3) repetibles a través del tiempo; (4) intercambiables en sus diferentes aspectos; p. ej., indicadores económicos vs. ecológicos; (5) de amplia aceptación por la población local; (6) con posibilidades para integrarse con otros indicadores; (7) de utilidad para predicción de eventos; y (8) de amplia aplicación.

Los indicadores deben ser interpretados en relación con un nivel crítico del estado del sistema o de algún valor de referencia. Los valores de referencia pueden fijarse en relación con:

1. El valor histórico, p. ej., el cambio en el nivel de CO₂ atmosférico en relación con un año base.
2. El valor de referencia, p. ej., mantener la tasa de erosión por debajo de alguna medida subjetiva.

Cuadro 2. Marco propuesto por la FAO para un sistema de indicadores (1995).

Impacto	Aspecto	Indicador
Directo	Físico Producto biológico	- Fertilidad de suelo, calidad de agua - Composición botánica, biomasa
Indirecto	Agrícola - animales domésticos - alimentos y alimentación - sistemas de cultivo	- Densidad de animales - Tipos de recursos forrajeros - Intensidad de cultivo
	Socioeconómico - uso de la tierra - derechos de la tierra - microeconómico - macroeconómico - política	- Cambio de uso de la tierra - Tenencia de la tierra - Ingreso, niveles de productividad - Demanda, precios - Reglamentaciones del gobierno

3. El valor del umbral, p. ej., el nivel máximo de plaguicidas establecido científicamente como tolerable para la salud humana.

Además, cuando no existen estándares de comparación, simplemente se describen tendencias o se comparan valores con aquellos en sistemas similares. Esto puede hacerse localmente, p. ej., las tendencias en una finca vs. en otra, o entre localidades o regiones. Dentro de algunas localidades existen, generalmente, algunos productores que administran sus recursos en forma conservadora. Tales fincas pueden utilizarse como una guía para establecer normas para indicadores específicos de sostenibilidad.

Elección de Indicadores para Evaluar Impactos en Sistemas de Producción Agropecuarios

El desarrollo de sistemas mejorados de alimentación para ganado puede tener un efecto inmediato a nivel de finca. Por tanto, es necesario hacer mediciones para cuantificar el impacto a nivel de finca individual de las tecnologías en desarrollo. Sin embargo, como en algunos casos las tecnologías exitosas pueden ser adoptadas espontáneamente por otros productores, es necesario medir su impacto a gran escala, y no sólo a nivel de finca individual. En consecuencia, en el momento de iniciar un proyecto es necesario tener información básica que permita, posteriormente, evaluar los cambios o el impacto de la nueva tecnología, tanto a nivel de finca como de región. Esto incluye la recolección de información en bases de datos y la medición de indicadores seleccionados. Esta información de base ayudará a describir los cambios generados por la nueva tecnología a diferentes escalas.

Podría concluirse que, antes de introducir una nueva tecnología, es necesario seleccionar los indicadores a los

cuales se les hará seguimiento a través del tiempo. Con frecuencia, los investigadores esperan hasta el final del proyecto para realizar mediciones, o las hacen sólo cuando aparece una solicitud de evaluación de impacto por parte de un proyecto donante. Se debe tener en cuenta que la evaluación de impacto es un elemento clave en el desarrollo de nuevas tecnologías.

Müller (1995) sugirió algunos indicadores que se pueden utilizar a nivel de cuenca y de finca. Para el efecto, tomó una cuenca de la provincia de Cartago, Costa Rica, y utilizó el sistema de propiedades, dimensiones y niveles descritos anteriormente. La cuenca incluyó reservas forestales, cultivos hortícolas intensivos y producción de ganado. Aunque no se sugirieron indicadores específicos para evaluar el impacto de nuevas tecnologías en la producción pecuaria, aquellos incluidos en el estudio dieron pautas útiles y se utilizaron para construir la matriz que aparece en el Cuadro 1, relacionado con el comportamiento del sistema. Estos indicadores son, quizás, más importantes que los sugeridos por la FAO (1995) y abarcan las dimensiones ecológica, económica y social de una manera equilibrada. Para la evaluación más específica de recursos de agua y suelo se sugiere consultar el estudio de Lal (1994).

En el Consorcio Tropileche se sugiere que el énfasis debería concentrarse en el estudio de los efectos de nuevas tecnologías de alimentación animal en recursos naturales a nivel de finca. Sin embargo, también podrían incluirse los efectos que éstas tienen fuera de la finca y que representen un impacto en la comunidad como un todo.

Cuando se evalúan los cambios en el ambiente es necesario, también, evaluar los cambios en el paisaje. Esto es obvio en un paisaje de laderas, pero no lo es en un terreno plano; p. ej., la mayor utilización del forraje en sitios cercanos a las fuentes de agua y a las instalaciones de ordeño ocasionan cambios en la vegetación y el suelo.

Es importante considerar las causas y los efectos dentro del sistema cuando se seleccionan indicadores específicos:

- ¿Cuáles son las presiones de uso de la tierra en el sistema existente?
- ¿Qué característica o estado del sistema es afectado por esta presión?
- ¿Cómo se puede reconocer un cambio en una característica?
- ¿Cómo se puede hacer seguimiento a tales cambios?
- ¿En qué parámetros puede el Consorcio Tropiche ejercer alguna influencia?

Por tanto, la elección final de indicadores dependerá de la naturaleza de la intervención que se planea para superar alguna limitación específica en el sistema de producción, y cómo aquéllos afectan la productividad agrícola individual y de la cuenca en su totalidad. Un ejemplo sería la limitación resultante del deterioro del paisaje a través de deforestación, sobrepastoreo y erosión de zonas de laderas debido a la escasez de forraje en la época seca. La solución puede ser la intensificación de la producción de forraje en áreas de menores riesgos con el objeto de aliviar la presión sobre las áreas con máximo riesgo.

En general, se sugiere considerar a nivel de finca un conjunto mínimo de indicadores de disponibilidad de forraje a través del año, productividad pecuaria e ingreso en la finca, presión de pastoreo y cobertura vegetal, calidad de agua en los arroyos, flujo de nutrientes en el sistema y bienestar familiar.

Indicadores Sugeridos a Nivel de Finca

Los indicadores sugeridos a este nivel son aquellos que se pueden estimar en el campo, en comparación con los que deben ser medidos en laboratorio. La mayoría de los parámetros de vegetación están en el primer

caso y pueden estimarse utilizando el paquete BOTANAL (Tothill et al., 1978). Los parámetros socioeconómicos, asimismo, pueden obtenerse fácilmente de entrevistas en el campo, excepto aquellos que involucran cambios relacionados con el uso de la tierra. Un ejemplo útil es la evaluación de la condición del suelo en pasturas de zonas semiáridas de Australia (Tongway y Hindley, 1995) utilizando indicadores que no involucran mediciones de laboratorio y puede ser realizadas fácilmente por técnicos y productores.

Un resumen breve de este procedimiento fue desarrollado por los autores y aparece a continuación. El objetivo general fue evaluar la capacidad relativa del suelo para: (1) absorber y almacenar agua proveniente de la precipitación, (2) almacenar y reciclar elementos nutritivos, (3) proporcionar un hábitat apropiado para las plantas, y (4) resistir la erosión. Esto se logró mediante el seguimiento de patrones y procesos en el paisaje.

La evaluación de las condiciones del suelo incluyó los pasos que se describen a continuación.

1. Descripción del ambiente geográfico del sitio en términos de forma de la tierra, y elementos y textura del suelo.
2. Distribución espacial de asociaciones de suelo y vegetación a través de transectos dentro de elementos de la forma de tierra.
3. Mediciones de la condición de la superficie del suelo.

La evaluación de la condición superficial del suelo incluye como mediciones: (1) la cobertura de suelo, (2) la cobertura basal de especies perennes, (3) la cubierta de residuos vegetales, (4) la cobertura de criptogramas, (5) la necesidad de romper las capas de suelo endurecidas, (6) los eventos de erosión, (7) la microtopografía de suelo, (8) la naturaleza superficial del suelo, y (9) pruebas rápidas de estabilidad del suelo. Esta información se agrupa para estimar:

(1) estabilidad del suelo, (2) infiltración y escorrentía, y (3) estado del reciclado de nutrientes. Obviamente, para ambientes subhúmedos y húmedos será necesario desarrollar un conjunto de criterios diferentes.

Referencias

- FAO. 1995. Key indicators to assess the environmental impact of livestock production. FAO, Roma, Italia.
- Lal, R. 1994. Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. SMSS Tech. Monograph no. 21. SCS. USDA, Columbus, Ohio, E.U.
- Müller, S. 1995. Evaluating the sustainability of agriculture at different hierarchical levels: a framework for the definition of indicators. Paper prepared for the Scientific Workshop on Indicators of Sustainable Development, Wuppertal, Germany, November 15-17, 1995. GTZ, Alemania.
- Tongway, D. y Hindley, N. 1995. Manual for assessment of soil conditions of tropical grasslands. CSIRO, Division of Wildlife and Ecology, Canberra, Australia. 60 p.
- Tothill, J. C.; Hargreaves, J. N.; Jones, R. M.; y McDonald, C. K. 1978. BOTANAL—A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. CSIRO Division of Tropical Crops and Pastures, Brisbane, Australia.

Metodología para Caracterizar Sistemas de Uso de Tierras: Acre, Rondônia, y Pucallpa en la Amazonía

S. Fujisaka*

Resumen

Se presentan algunos resultados obtenidos en los trabajos sobre caracterización de los sistemas de uso de tierras en Acre y Rondônia (Brasil) y en Pucallpa (Perú). Específicamente, se trata el problema de la deforestación en la región amazónica y las políticas más importantes relacionadas con esta práctica en el Brasil, las características de las zonas de estudio, los resultados de las entrevistas con colonos y del análisis de los sistemas de información geográfica (SIG), las conclusiones sobre los efectos de la deforestación y de los sistemas de producción animal y, finalmente, un breve comentario sobre los métodos utilizados en el estudio. Con el uso de imágenes de satélite LandSat TM se analizaron en parcelas de estas regiones las tasas de deforestación en el tiempo. Las imágenes indicaron que, en 1992 en la localidad de Pedro Peixoto, en Acre, Brasil, se talaron el 26% de las parcelas, mientras que en 1993 el área deforestada en las parcelas de Pucallpa, Perú, fue de 70%, y en 1996 de 68%, según las entrevistas con colonos de la zona. En ambas regiones, la deforestación era mayor en los sitios más cercanos a la carretera principal que en aquellos próximos a la vías secundarias. Los colonos entrevistados manifestaron que después de la tumba y quema del bosque establecían arroz en el primer año y maíz, yuca o pasturas en el segundo. El promedio de duración de las parcelas bajo cultivo variaba entre 2.1 y 2.5 años después de la tala y quema del bosque. Las razones para el abandono de estas parcelas fueron la reducción en la productividad, el aumento en la invasión de malezas y el ataque de plagas y enfermedades.

* Antropólogo Agrícola, CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

Introducción

En este artículo se presentan algunos resultados obtenidos en los trabajos sobre caracterización de los sistemas de uso de tierras en Acre y Rondônia (Brasil) y en Pucallpa (Perú), los cuales se utilizarán para ilustrar la metodología de investigación y la forma de aprovechamiento de los resultados. Específicamente, se presentan los objetivos y las actividades de investigación, el problema de la deforestación en la región amazónica y las políticas más importantes relacionadas con esta práctica en el Brasil, las características de las zonas de estudio, los resultados de las entrevistas con colonos y del análisis de los sistemas de información geográfica (SIG), las conclusiones sobre los efectos de la deforestación y de los sistemas de producción animal y, finalmente, un breve comentario sobre los métodos utilizados en el estudio.

El estudio tuvo como objetivos:

- (1) Conocer la dinámica de la deforestación desde el nivel de la finca hasta la cuenca amazónica.
- (2) Contribuir a la reducción de las tasas de deforestación mediante el desarrollo de alternativas técnicas y políticas.
- (3) Comprender los sistemas de producción animal de doble propósito.
- (4) Contribuir a mejorar el bienestar de las poblaciones de la Amazonía.
- (5) Entender los intercambios entre la producción y el medio ambiente.

En los estudios se incluyeron las actividades en dos zonas colonizadas en Acre y Rondônia, Brasil, y en Pucallpa, Perú; entrevistas con colonos y análisis de imágenes de satélite y de SIG; análisis de las tasas y patrones de deforestación y cambios en los usos de la tierra; análisis de los cambios en las comunidades de plantas y en su biodiversidad, según los diferentes usos de la tierra; desarrollo de ensayos para evaluar técnicas alternativas; y, finalmente, el análisis de los sistemas de producción animal.

Deforestación

Durante las décadas de los 70 y los 80, la tasa de deforestación mundial fue más alta en América Latina que en Asia y África, siendo mayor en los estados brasileños de Rondônia, Mato Grosso, Maranhão y Acre que poseen más de la mitad de los bosques húmedos en Suramérica; y en Perú, donde se están convirtiendo áreas extensas de bosque a pasturas. Aunque el Ecuador, entre los países amazónicos, posee el área más pequeña de bosque húmedo, tiene la tasa más alta de conversión de bosque a otros usos de la tierra, principalmente cultivos (Figura 1).

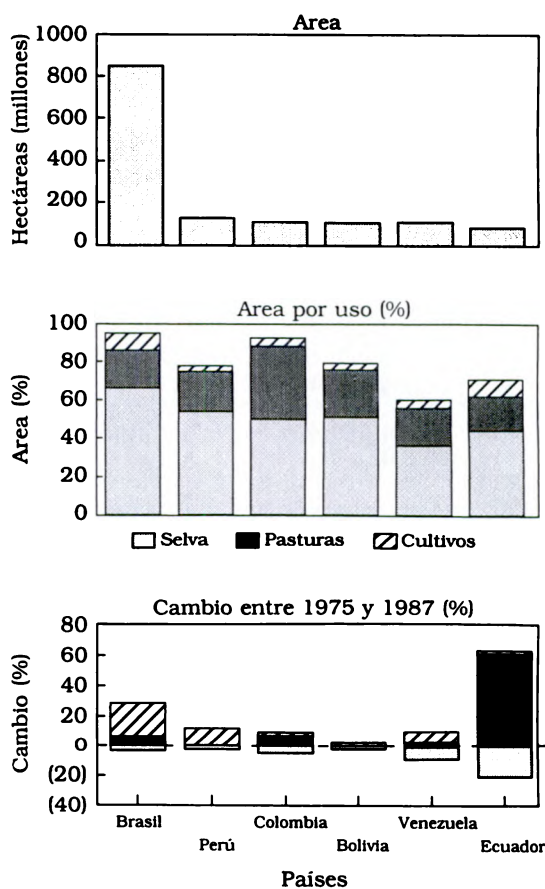


Figura 1. Uso de la tierra y cambios entre 1975 y 1987 en varios países de la región amazónica.

Como se explica a continuación, es claro que las políticas del Gobierno del Brasil favorecieron las altas tasas de deforestación, pero, afortunadamente, con los cambios en estas políticas, las tasas de deforestación actualmente están bajando, siendo de 1.4 millones de hectáreas en 1990 (Cuadro 1).

Características de los Sitios en Estudio

En Brasil, las entrevistas con colonos se hicieron en las localidades Pedro Peixoto (Acre) y Theobroma (Rondônia); y en Perú se hicieron en el suroeste de Pucallpa. En estos sitios, los colonos ocuparon las tierras, y a partir de la tumba y quema del bosque original les dieron otros tipos de uso. En los Mapas 1 y 2 del Anexo 1 se muestran los correspondientes a dos sitios en Brasil con el mapa catastral respectivo superpuesto al de suelos. En el Mapa 3 (Anexo 1) aparece el uso de suelo en Pucallpa con las

carreteras y las vías de acceso superpuestas.

Los suelos en Pedro Peixoto son, en su mayoría, Oxisoles y Ultisoles, y tienen usos potenciales similares. En Theobroma existen, además, algunas áreas de Alfisoles con mayor potencial productivo. La zona de Pucallpa fue ocupada desde la década de los 40 cuando se construyó la carretera Pucallpa-Lima. Theobroma tiene aproximadamente 25 años de ocupación, en un proceso que fue favorecido por la construcción de la carretera Cuiba-Porto Velho. La colonización de Pedro Peixoto ocurrió en la década de los 80.

En promedio, las fincas miden 88 ha en Pedro Peixoto, 76 ha en Theobroma y 35 ha en Pucallpa. En 1995, en las fincas en Pedro Peixoto el 34% de las parcelas era pasturas y el 4% cultivos anuales (maíz, yuca, arroz y frijol), siendo la deforestación de 34%; en Theobroma, el 29% era pasturas y el 9% era cultivos anuales, con una tasa

Cuadro 1. Organismos y políticas que han influido en el desarrollo de la Amazonía brasileña, entre 1942 y 1985.

Año	Organismo	Objetivo
1942	Banco de Crédito de Borracha	Promover la producción de caucho
1950	Banco de Crédito de Amazonia	Monopolio del estado
1960	Construcción de carreteras	Brasília-Belém
1965	Fundação de Expansão Agropecuária	Producción de ganado en Acre
	Construcción de carreteras	Cuiba-Porto Velho
1966	SUDAM	Planificación, financiamiento proyectos
	Banco de Amazonia	Financiamiento de asentamientos
1967	SUFRAMA	Incentivos federales para Manaus
	Banco de Crédito de Amazonia	Freno al financiamiento para cultivo de caucho
1970	RADAM	Exploración de yacimientos minerales
	INCRA	Asentamientos y grandes concesiones
	Plano de Integração Nacional	Construcción de carreteras
1971	PROTERRA	Incentivos para la agroindustria
	Fundação de Expansão Agropecuária	Créditos para ganado en Acre
1972	SUDAM	Incentivos para las grandes haciendas
	Construcción de carreteras	Inicio de la carretera Trans-Amazónica
	PROBOR I	Mejoramiento de los cultivos de caucho
1974	POLOAMAZONIA	Asentamientos de grandes empresas
1975	Segundo Plan de Desenvolvimento	Explotación de madera
1978	PROBOR II	Proyectos de cultivo de caucho
1980	PAD	Formación de colonias en Acre
1985	Eliminación de algunos incentivos	Excepto para haciendas y empresas

de deforestación del 50%; y en Pucallpa, el 25% era pasturas y el 6% cultivos anuales, con una deforestación del 65%. En esta última región, el área de las fincas en barbecho o descanso era del 29%, mientras que en las regiones de Brasil esta área era escasa (Cuadro 2). Mediante entrevista con los agricultores se estimó que la tasa de deforestación anual entre 1994 y 1996 en Pucallpa fue de 1.3 ha y en Theobroma de 2.8 ha.

Resultados

Con el uso de imágenes de satélite LandSat TM se analizaron en cada parcela las tasas

de deforestación en el tiempo. Para ello, en Pedro Peixoto se colocaron los mapas catastrales sobre las imágenes correspondientes de 1984, 1987 y 1992 (Mapas 4 y 5, Anexo 1). Las imágenes indican que en 1992 se abrió el 26% de las parcelas, lo que concuerda con la cifra de 34% calculada para 1995 con base en el cambio anual. Para Pucallpa no se dispuso del mapa catastral y fue necesario asumir, con base en las encuestas, que las fincas tenían una profundidad, o largo promedio, de 1500 m. Las imágenes (Mapas 6 y 7, Anexo 1) indican que, en 1993 el 70% de la región fue deforestada, mientras que en 1996 la deforestación fue superior al 68%, según las entrevistas con los colonos (Cuadro 3).

Cuadro 2. Uso de la tierra (%) en las localidades de Pedro Peixoto (Acre) y Theobroma (Rondônia), Brasil (1994 a 1995); y en Pucallpa, Perú (1995 a 1996).

Uso de la tierra	Pedro Peixoto		Theobroma		Pucallpa	
	Año: 1994	1995	1994	1995	1995	1996
Bosque (% de la finca)	69	66	54	50	35	32
Abierta (%):	31	34	46	50	65	68
Pasturas	20	25	26	29	25	25
Barbecho	6	2	8	4	29	29
Cultivos anuales	4	7	7	9	5	6
Cultivos perennes	1	0	5	8	6	8
Tamaño de finca (ha)	88		76		35	
Area talada por año (ha)	1.8		2.8		1.3	

FUENTE: Entrevistas con colonos.

Cuadro 3. Deforestación en la localidad Pedro Peixoto, Brasil (1984, 1987, 1992); y en Pucallpa, Perú (1996), calculada con base en imágenes Landsat TM.

	Pedro Peixoto				Pucallpa	
	Total (ha x 10³)	% deforestación			Total (ha x 10³)	% deforestación 1993
		1984	1987	1992		
Imagen total	356.7	9	12	25	109.1	39
Colonos	276.4	8	13	26	17.3	70
Haciendas*	21.8	17	17	32	7.4	*
Otro	58.5	9	6	16	—	—
Area deforestada (%)						
Entrevistas			34 (1995)			68 (1996)
Landsat TM			26 (1992)			70 (1993)

* Haciendas, se calculó por zonas grandes y uniformemente deforestadas.

No obstante, es posible que en este último año la deforestación haya sido mayor debido a que: (1) la diferencia refleja una subestimación del largo de las parcelas y se sabe que las áreas más alejadas de la carretera son menos deforestadas; (2) las áreas en barbecho indican un avance de la deforestación neta en los últimos años; y (3) posiblemente los agricultores subestimaron la proporción de tierras ya abiertas. De todos modos, ambos, las entrevistas y las imágenes satélite, están de acuerdo sobre las tasas de deforestación.

En Pedro Peixoto y Pucallpa, la deforestación era mayor en los sitios más cercanos a la carretera principal que en aquellos próximos a las vías secundarias; igualmente era mayor en la segunda localidad que en la primera (Figura 2). En estas localidades, los colonos entrevistados manifestaron que después de la tumba y

quema del bosque establecían arroz en el primer año y maíz, yuca o pasturas en el segundo; mientras que en Theobroma en el segundo año no establecían yuca, en Pucallpa no establecían pasturas (Cuadro 4). El promedio de duración de las parcelas bajo cultivo variaba entre 2.1 y 2.5 años después de la tala y quema del bosque. Las razones para el abandono de las parcelas fueron la reducción en la productividad, el aumento en la invasión de malezas y el ataque de plagas y enfermedades (Cuadro 5). Después de este ciclo, el 64% de los colonos en Pedro Peixoto y el 6% en Pucallpa sembraban pasturas, mientras que el 20% en Theobroma sembró cultivos perennes, el 36% en los sitios restantes de Brasil y el 96% en Pucallpa dejaron las parcelas en barbecho (Cuadro 6).

La mayoría de los colonos entrevistados en Brasil tenía ganadería, pero en Pucallpa solamente el 20% de ellos poseía ganado en

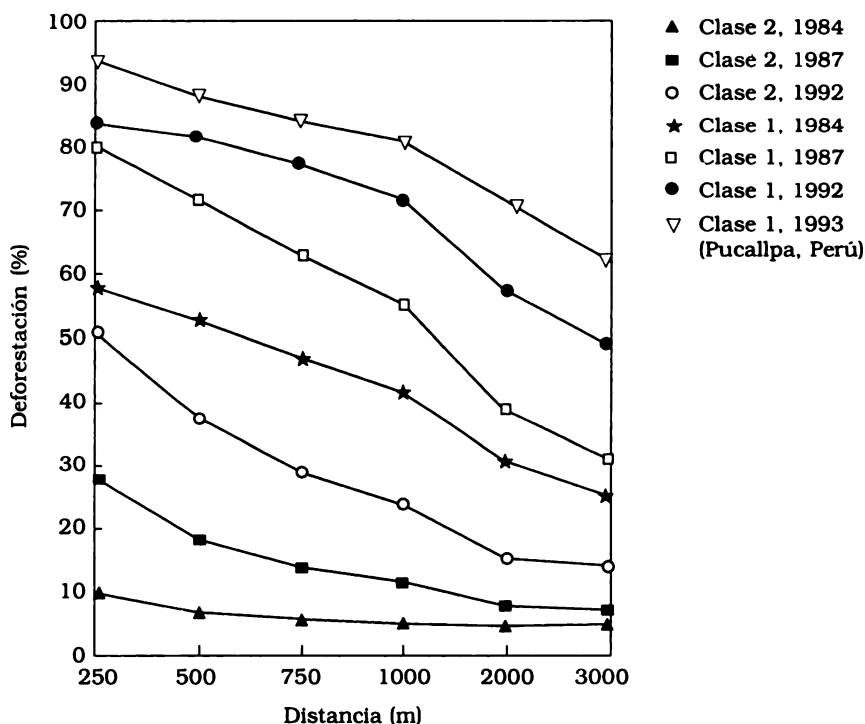


Figura 2. Tasa de deforestación (%) según la distancia de las vías de comunicación en Pedro Peixoto (Brasil) y Pucallpa (Perú).

Cuadro 4. Uso de la tierra (% de entrevistados) en Pedro Peixoto y Theobroma (Brasil) y en Pucallpa (Perú), durante el primer y segundo año después de la tumba y quema del bosque.

Cultivo	Pedro Peixoto		Theobroma		Pucallpa	
	Año: Primero	Segundo	Primero	Segundo	Primero	Segundo
Arroz	92	0	70	0	80	1
Maíz	0	42	0	44	14	12
Yuca	0	26	0	0	4	36
Pasto	1	17	13	25	0	5
Barbecho	0	8	0	8	0	29
Otro	7	7	17	23	2	17
Total	100	100	100	100	100	100

Cuadro 5. Años de uso de la tierra para cultivos anuales después de la tumba y quema del bosque y razones para descontinuar los cultivos en Pedro Peixoto y Theobroma, Brasil; y en Pucallpa, Perú.

	Pedro Peixoto	Theobroma	Pucallpa
Años de cultivo	2.1	2.5	2.1
Razones para descontinuar el cultivo:			
Baja producción	36	68	75
Malas hierbas	51	34	46
Mala hierba: <i>Imperata</i> sp.	43	5	0
Plagas y enfermedades	25	12	2
Otro	31	40	1

Cuadro 6. Población ganadera en fincas en Pedro Peixoto y Theobroma, Brasil; y en Pucallpa, Perú.

	Pedro Peixoto	Theobroma	Pucallpa
Por ciento con ganado	91	81	20
Número de cabezas/finca	23	30	23

diferentes especies de *Brachiaria* (Cuadro 7) que utilizaban en rotación y con quema frecuente (Cuadro 8).

Los colonos justificaron la deforestación argumentando que mediante esta práctica logran incrementar el área de sus parcelas, lo que les permite establecer pasturas y hacer obras de infraestructura, como corrales y bebederos para el ganado; e implementaron algunas tecnologías que valorizan sus propiedades (Cuadros 9 y 10).

Aparentemente, muchos de los colonos entrevistados convirtieron los bosques en haciendas pequeñas, como una forma de especular con la valorización.

No se encontró una explicación clara del por qué los colonos en Pucallpa tenían menos ganado y, por consiguiente, más pasturas subutilizadas que en Brasil (Cuadro 11). Se considera que lo anterior se debió al fenómeno del terrorismo que por la época afectaba aquella región; no obstante,

Cuadro 7. Composición de las pasturas en fincas en Pedro Peixoto y Theobroma, Brasil; y en Pucallpa, Perú.

Pastura	Pedro Peixoto			Theobroma			Pucallpa		
	Respuesta (%)	Promedio (área, ha)	Area (%)	Respuesta (%)	Promedio (área, ha)	Area (%)	Respuesta (%)	Promedio (área, ha)	Area (%)
<i>B. brizantha</i>	80	12	57	78	15	51	69	7	40
<i>B. decumbens</i>	60	7	24	36	9	13	—	—	—
<i>B. humidicola</i>	11	3	2	32	5	5	—	—	—
<i>Panicum maximum</i>	—	—	—	12	7	3	—	—	—
<i>P. phaseoloides</i>	7	4	1	—	—	—	21	1	4
<i>P. phaseoloides</i> + <i>Brachiaria</i>	7	22	10	—	—	—	17	28	28
Pasto nativo	7	8	3	—	—	—	14	1	5

Cuadro 8. Manejo de pasturas en fincas en Pedro Peixoto y Theobroma, Brasil; y en Pucallpa, Perú.

	Pedro Peixoto	Theobroma	Pucallpa
Uso de fuego para regeneración (%)	75	71	39
Frecuencia de uso de fuego (años)	1.3	1.1	1.8
Rotación de ganado por potreros (%)	70	70	68
Frecuencia de rotaciones (meses)	2.6	2.1	1.0

Cuadro 9. Valorización de tierras en fincas en Pedro Peixoto y Theobroma, Brasil; y en Pucallpa, Perú.

	Pedro Peixoto	Theobroma	Pucallpa
Aumentaron de valor (% de fincas)	93	97	95
Promedio de aumento por año (%)	74	157	97
Razones del cambio (%)			
Siembra de pastos	60	50	30
Cercos	56	36	12
Bebederos de agua	30	13	2
Aumento del área abierta	12	26	15
Corral	12	16	0
Casa	26	16	28
Carreteras	25	27	39
Cultivos perennes	12	35	46

Cuadro 10. Desarrollo de tecnologías en fincas de Pucallpa, Perú.

Tecnología	Comentarios
<i>Brachiaria decumbens</i> + leguminosas	Con <i>Stylosanthes guianensis</i> y <i>Desmodium ovalifolium</i> ; ensayos desde 1987; sin abono; 1.0-1.5 cabezas/ha; 20-30 días de descanso. Las asociaciones persisten más de 6 años; el rendimiento de leche aumenta entre 10%-15%; y la MO aumenta en los suelos, pero falta fósforo.
Barbechos mejorados con leguminosas cultivos sembrados posteriormente.	<i>Stylosanthes guianensis</i> o <i>Desmodium ovalifolium</i> en barbechos mejoraron la productividad de
Arroz-leguminosas bajo palma aceitera	Cultivo establecido en finca como alternativa.
Palmito con leguminosas	Aumentos en producción de leche y carne.
Renovación de pasturas nativas degradadas	Con mecanización, cultivo de arroz, y luego pasturas de <i>Brachiaria</i> y leguminosas; resultados positivos.

Cuadro 11. Cabezas por hectárea (% de colonos que respondieron) en fincas en Pedro Peixoto y Theobroma, Brasil; y en Pucallpa, Perú.

Cabezas por ha	Pedro Peixoto	Theobroma	Pucallpa
< 1	33	37	73
1-2	38	37	24
> 2	29	26	3

en la Figura 3 se observa que, entre 1986 y 1995, la relación entre población ganadera y actos de terrorismo no fue evidente.

Finalmente, en Pedro Peixoto se caracterizaron los tipos de plantas y el números de individuos en cada uno de ellos dentro de cada sistema de uso de la tierra: bosque; cultivos en los 3 años siguientes a la tumba y quema; barbechos entre 1 y

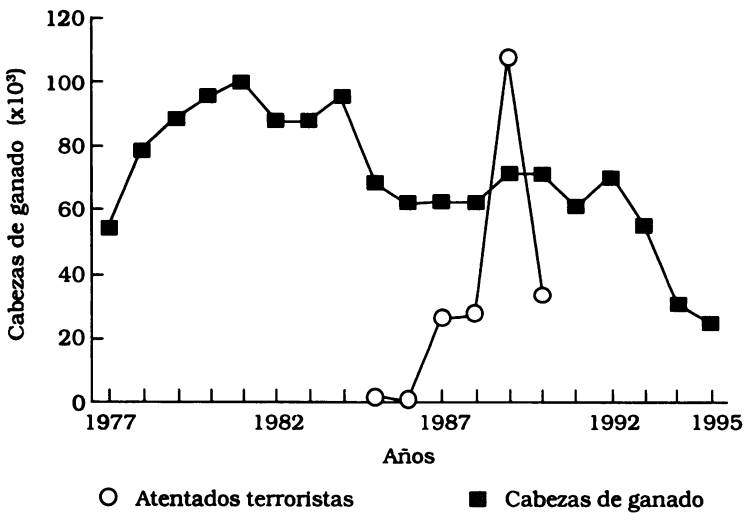


Figura 3. Variación en la población ganadera y actos de terrorismo en la región de Ucayali, Perú.

2 años, entre 3 y 5 años, y de más de 5 años; cultivos en los 2 años siguientes a barbecho; y pasturas. Los tipos de planta considerados fueron árboles, palmas, lianas, arbustos, herbáceas y otros. Los resultados mostraron la reducción en el número total de plantas en los diferentes usos desde bosque hasta pastura, el aumento de herbáceas y el alto número de plantas en los barbechos entre 3 y 5 años de edad (Figura 4). También se encontró, como resultado de los cambios en el uso de la tierra, una alta pérdida de plantas de diferentes especies en el bosque, mientras que aparecieron otras que no habían sido observadas antes (Figura 5).

Conclusiones

En los sitios en estudio, las políticas sobre la construcción de carreteras, la explotación de madera, la colonización, el fomento de la ganadería y la formación de haciendas han sido los factores que más han favorecido la deforestación. Además, los colonos también tumban el bosque para producir arroz y otros cultivos, para sembrar pasturas y criar

ganado, y para aumentar el valor de sus tierras. En Brasil, la deforestación se ha reducido con los cambios en las políticas, aunque continúa en las colonias y en las haciendas. En Pucallpa, factores como el terrorismo y la producción de coca afectan, aunque no en forma muy clara, el uso de la tierra. Por consiguiente, aún se necesitan alternativas políticas y tecnológicas para lograr un desarrollo sostenible en la región Amazónica.

En *Theobroma* hay una mayor división del tamaño de las parcelas y más sistemas intensivos de doble propósito. En Pedro Peixoto y Pucallpa se utilizan pasturas basadas en leguminosas. En esta última localidad, las pasturas mantienen una carga animal por debajo de su potencial, aunque actualmente hay interés por parte de los colonos en aumentar el número de animales. En las regiones de Brasil es necesario hacer investigación sobre pasturas asociadas gramínea-leguminosa.

Sobre la metodología utilizada se puede concluir que el empleo de los avalúos rural y participativo rural, las entrevistas formales y

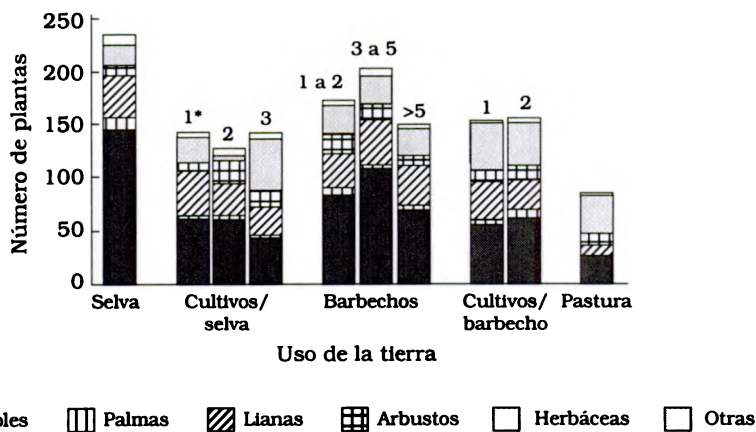


Figura 4. Número de plantas por tipo de cultivo y uso de la tierra en Pedro Peixoto, Brasil, 1994.
• Número de años.

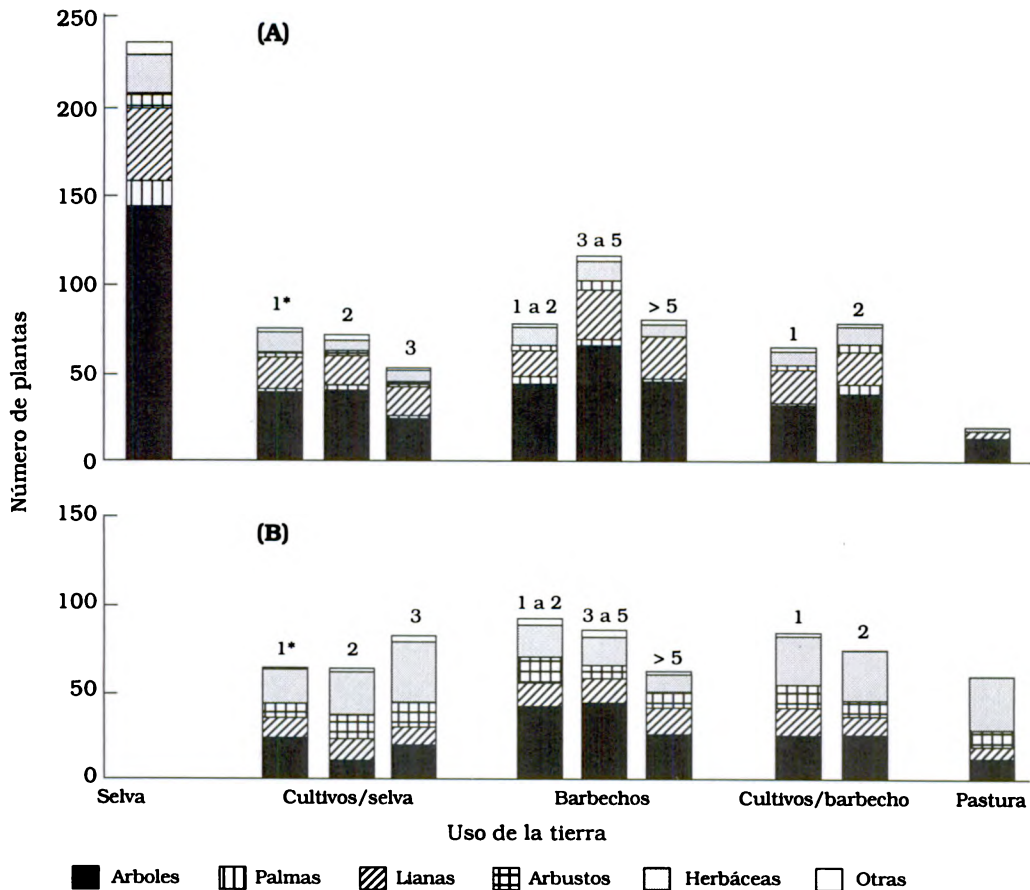


Figura 5. (A) Número de plantas por tipo de cultivo originarias de la selva y que continúan en otros usos de la tierra y (B) cultivos que aparecen en otros usos de la tierra. Pedro Peixoto, Brasil, 1994.
* Número de años.

los SIG fueron suficientes para recolectar la información y caracterizar los sistemas.

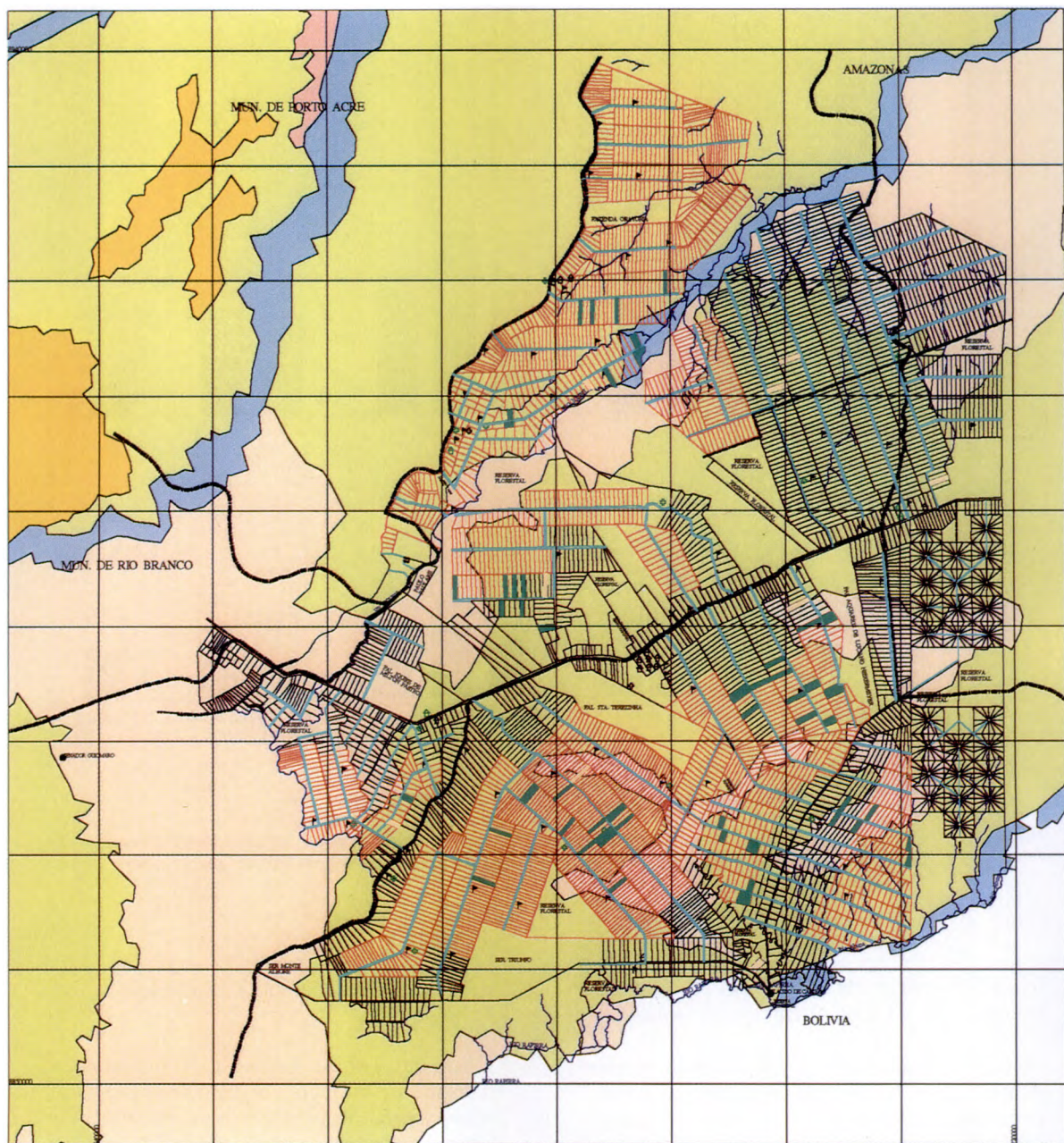
En los avalúos rural y participativo rural es necesario: (1) Definir las hipótesis y las preguntas del cuestionario para entrevista. (2) Evitar el uso de datos irrelevantes para las actividades de caracterización. (3) Buscar la participación de grupos multidisciplinarios. (4) Que cada participante haga entrevistas sobre todos los temas. (5) Realizar entrevistas en forma de diálogo con el colono. (6) Que el entrevistador esté técnicamente bien informado. (7) Que los investigadores se actualicen en las nuevas técnicas para

recolectar información y caracterizar sistemas.

Las entrevistas formales: (1) deben ser en forma de diálogo y organizadas por temas y preguntas relacionadas; (2) se deben hacer evaluando al mismo tiempo las respuestas; y (3) deben asegurar que los datos sean consistentes y razonables; en caso contrario, se deben investigar las causas y hacer las correcciones para que esto no ocurra.

Los SIG se utilizaron principalmente para el análisis de imágenes con el objeto de conseguir datos numéricos.

Anexo 1

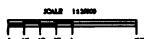


Leyenda de suelos:

- Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico
- Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico
- ▨ Podzólico Vermelho Amarelo
- ▤ Solos hidromórficos Gleyzados Eutróficos
- ▥ Solos hidromórficos Gleyzados Distróficos
- Cambissolo Distrófico

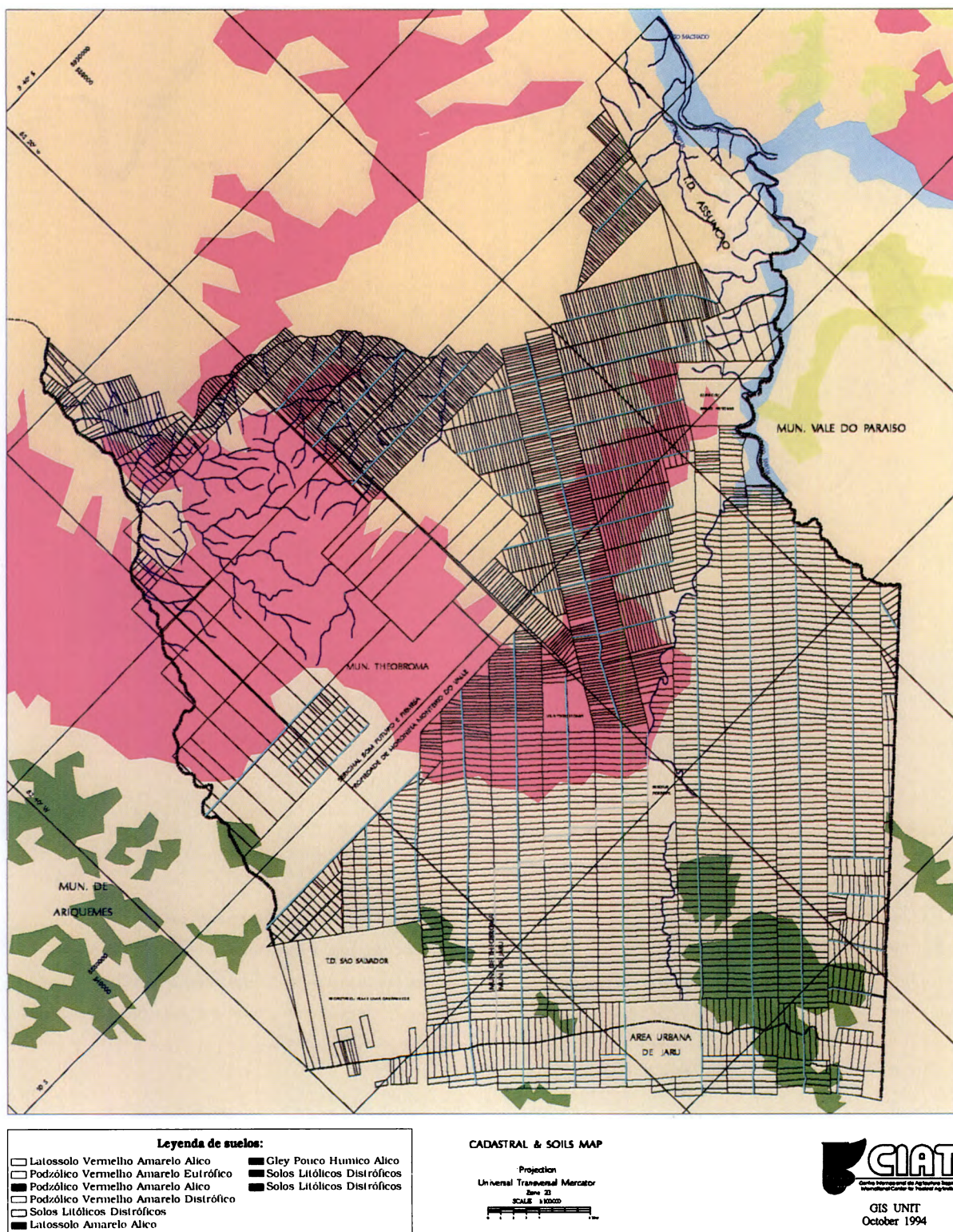
Pad Pedro Peixoto - Rio Branco / AC

Original map from the Colonization and Agricultural
Reform National Institute - INCRA, Agriculture Ministry, BRAZIL.

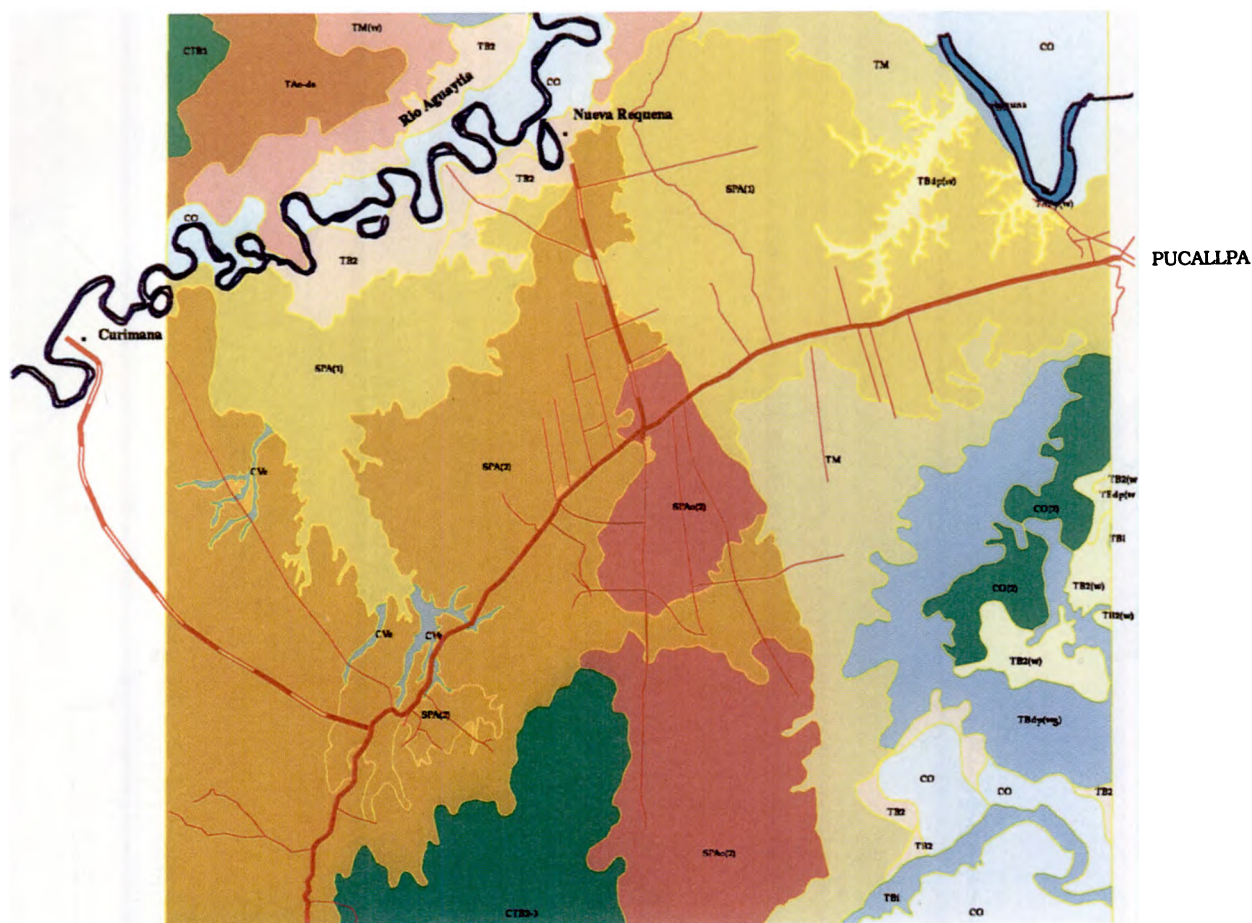


GIS UNIT
October 1994

Mapa 1. Mapa de uso de la tierra en Pedro Peixoto, Brasil. Mapa catastral superpuesto al de suelos.



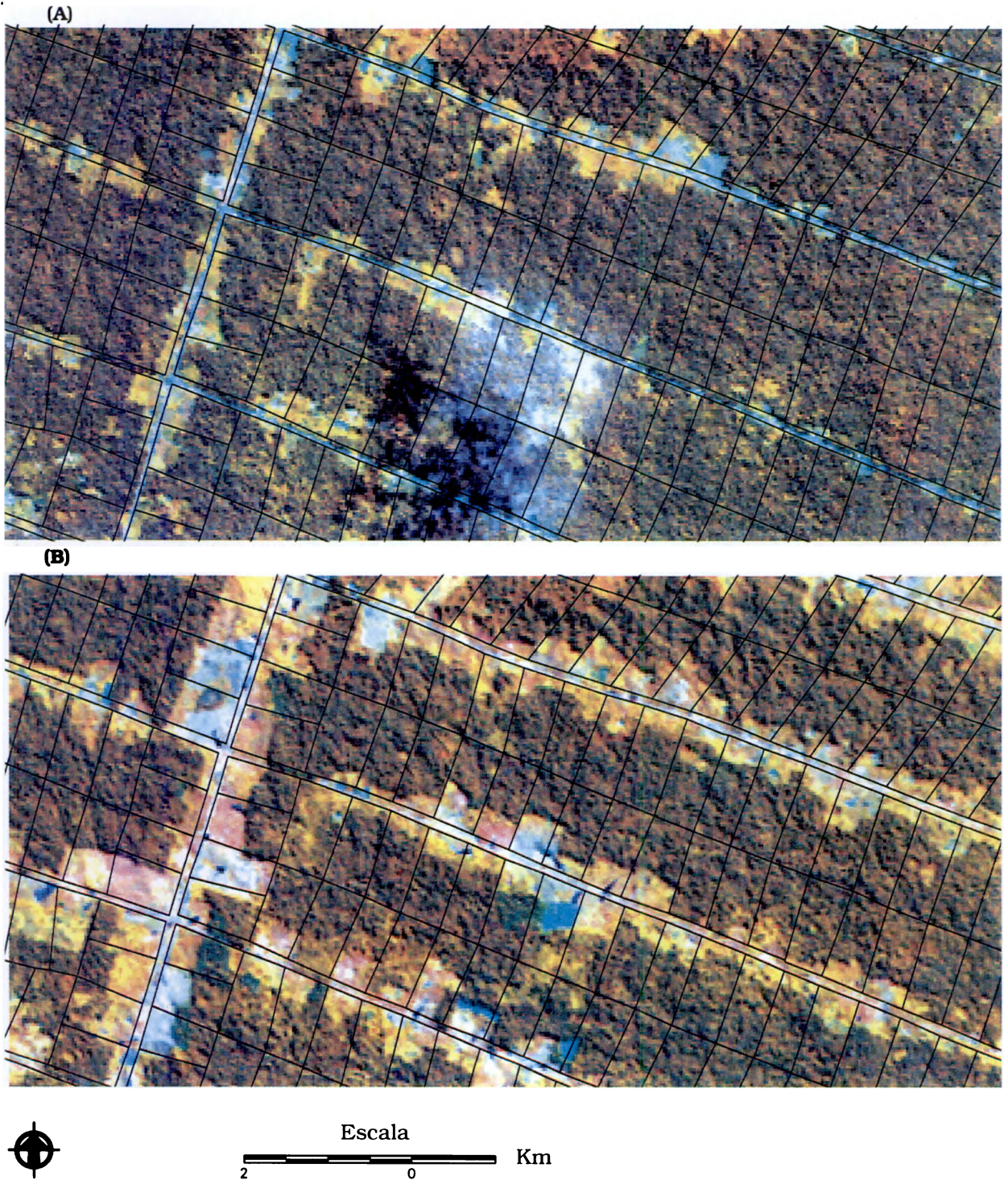
Mapa 2. Mapa de uso de la tierra en Theobroma, Brasil. Mapa catastral superpuesto al de suelos.



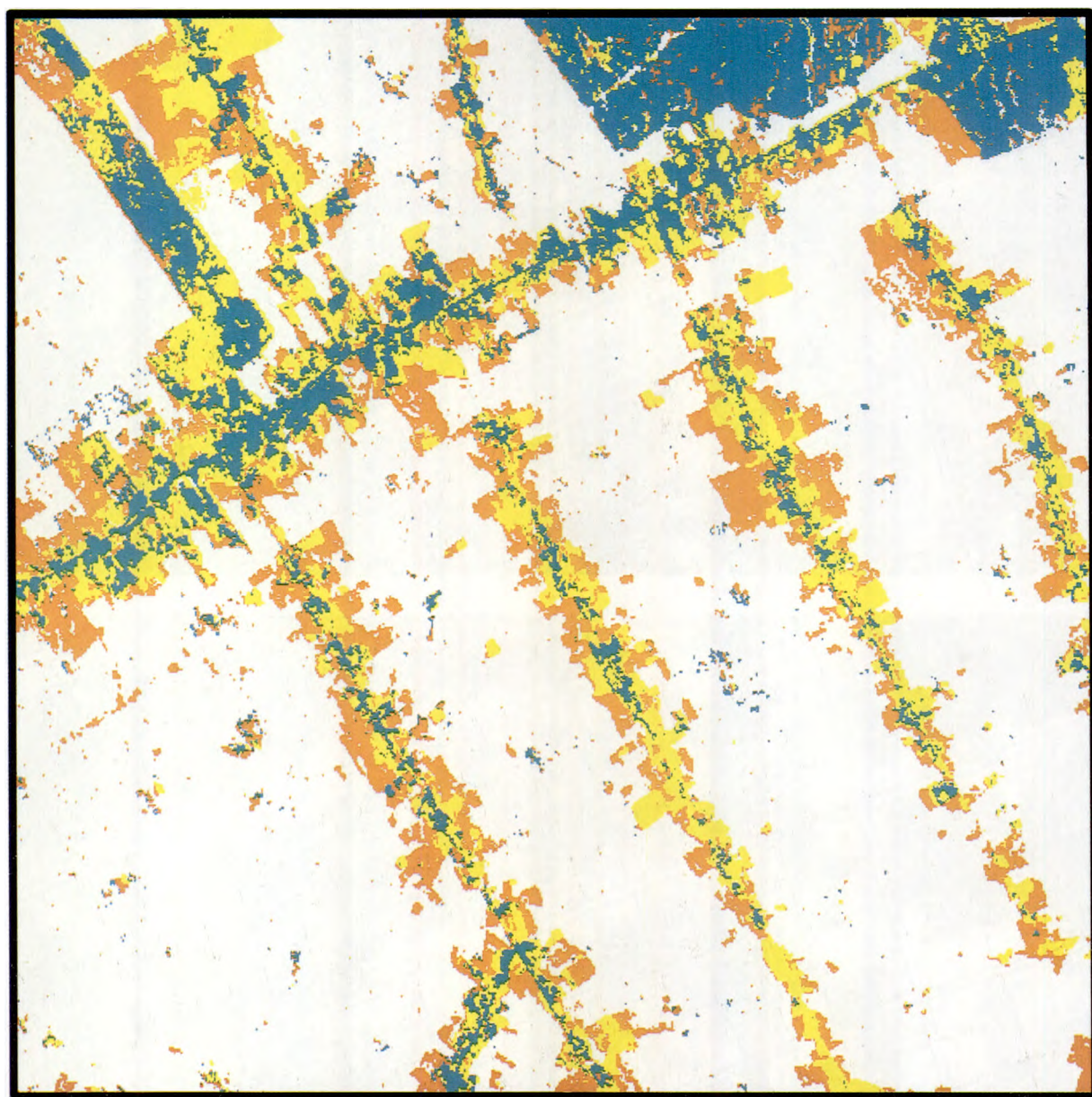
Leyenda fisiográfica de Pucallpa:

- | | |
|--|---|
| Complejo de Orillares (CO) | Terraza alta ondulada disectada (TAO-ds) |
| Terrazas bajas inundables (TBI) | Superficie plana estructural (nivel 1) SPA(1) |
| Terrazas bajas no inundables (TB2) | Superficie plana estructural (nivel 2) SPA(2) |
| Terrazas bajas depresionadas [TBdp(w)] | Superficie plana estructural ondulada (nivel 2) SPAo(2) |
| Terraza media (TM) | Valle estrecho (CVe) |
| Terraza media mal drenada [TM(w)] | |

Mapa 3. Mapa de uso de la tierra en Pucallpa, Perú.



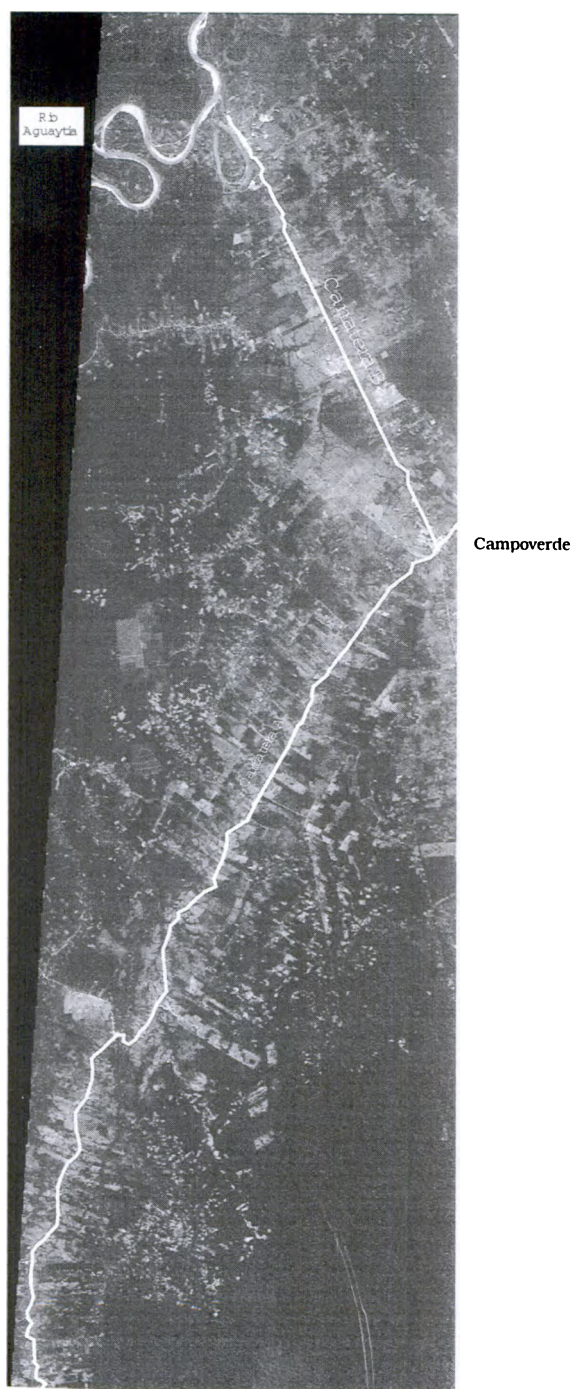
Mapa 4. Sección de imagen LandSat TM de Pedro Peixoto, Brasil, en (A) 1987 y (B) 1992, y representación de parcelas y vías de comunicación.



Escala
2 0 2 Km

- Deforestación en 1984
- Deforestación entre 1984 y 1987
- Deforestación entre 1987 y 1992

Mapa 5. Avance de la deforestación en Pedro Peixoto, Brasil, entre 1984 y 1992.



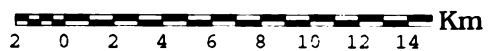
Mapa 6. Sección de imagen LandSat TM de Pucallpa, Perú, 1993.



Estadísticas sobre uso de la tierra

Vegetación	Area (km ²)	Area de imagen (%)
Con bosque	67.13	55.16
Sin bosque	42.02	34.53
Fuera de imagen	12.54	10.30
Total	121.69	

Escala



Mapa 7. Diferenciación de áreas con y sin bosque en Pucallpa, Perú, 1993.

Monitoreo de Sistemas de Producción de Doble Propósito a Nivel de la Vaca, el Hato y el Productor

*S. Anderson y J. Santos**

Resumen

En este documento se describen los aspectos metodológicos que distinguen el monitoreo, un proceso iterativo utilizado para comprender la naturaleza dinámica de los agroecosistemas, de otras técnicas de investigación utilizadas para la recolección de información.

Se revisan los usos y logros obtenidos con el sistema de monitoreo en investigación agropecuaria y se resume su utilidad en la identificación de los problemas, las respuestas a los interrogantes y los resultados de las etapas de validación en el proceso de investigación. Además, se discuten las consideraciones importantes en el establecimiento de un programa de monitoreo y se describen los análisis apropiados de la información obtenida con él. Se presentan, igualmente, las formas para combinar la investigación con las encuestas y su posible interfase con métodos de investigación participativa.

El Proyecto Colaborativo de Investigación en Sistemas de Doble Propósito de las Universidades de Yucatán y Londres se utiliza como ejemplo de la aplicación de un método de monitoreo y análisis de información.

* Médicos Veterinarios-Zootecnistas. Proyecto Colaborativo Universidad de Yucatán-Universidad de Londres. Apartado 116-4, CP 97100, Yucatán, Méxco.

¿Qué Es Monitoreo y Cuándo Es Necesario?

Esencialmente, monitoreo es una forma dinámica o interactiva de búsqueda a través de la cual se puede obtener información cuantitativa o cualitativa de un sistema bajo escrutinio. Su característica distintiva consiste en que las actividades de recolección de información se repiten durante un período fijo. Por tanto, la averiguación ocurre en una serie de momentos, y la acumulación de la información en el transcurso del tiempo le da al monitoreo un carácter dinámico que lo distingue de otras formas estáticas de investigación. Puede ser tan simple como lo es la medición repetida de un parámetro dado, o tan complicado como una investigación sobre el comportamiento y las interacciones entre muchos componentes biofísicos de sistemas que estiman y utilizan un mecanismo de retroalimentación; por ejemplo, lo que ocurre en el centro de control de un viaje al espacio.

En consecuencia, el monitoreo proporciona información sobre procesos, ya que se puede utilizar en todos los estados de la investigación o ciclos de un proyecto. Es, a menudo, una forma de averiguación mediante la cual se puede incluir cualquier actividad de recolección de información, con la única condición de que esa actividad contribuya a la acumulación iterativa de información y no sea exclusivamente una observación aislada. La información obtenida puede ser cuantitativa o cualitativa.

El monitoreo de los sistemas es necesario cuando las formas estáticas de averiguación no proporcionan información suficiente para responder los interrogantes de las hipótesis planteadas. Constituye, además, una herramienta importante del enfoque de sistemas, ya que enfatiza el análisis de la información con base en la interacción entre los componentes en un sistema como un todo, en lugar del análisis de los componentes individuales.

Los cambios son una característica constante en los sistemas agropecuarios y ocurren debido a factores internos o externos, pudiendo ser cíclicos, súbitos o de tendencia. En consecuencia, para comprender el comportamiento de estos sistemas es, con frecuencia, necesario disponer de información dinámica correspondiente a períodos de tiempo. Los sistemas que incluyen ganado vacuno muestran características dinámicas muy diferentes a las de los cultivos. Los ciclos de los animales son menos predecibles que los de los cultivos y están propensos a alargarse o recortarse con base en los animales individuales. Además, el inventario ganadero de una finca puede variar por muchos factores.

Los sistemas agropecuarios tienen tres fases principales: insumos y recursos, utilización de insumos y procesos productivos, y producción. Si se reconoce que los sistemas agrícolas son, en un contexto amplio, un agroecosistema, el impacto de los procesos productivos sobre los ambientes próximos será de importancia. Las propiedades de los agroecosistemas incluyen productividad, estabilidad, sostenibilidad y equidad. Estas propiedades pueden ser examinadas en cada nivel de jerarquización agroecológica; sin embargo, sólo mediante un proceso de seguimiento es posible estimar la dirección de los cambios en ellas y entender los resultados. El comportamiento agregado de diferentes componentes (subsistemas) dentro de los niveles de la jerarquía agroecológica determinará las propiedades emergentes del agroecosistema.

El monitoreo, en consecuencia, es un intento para observar y registrar el comportamiento de los componentes del agroecosistema, la interacción entre ellos, y el sistema como un todo, considerando la complejidad inherente en estos procesos debidos a la naturaleza jerárquica de los agroecosistemas y los cambios debidos a factores endógenos y exógenos a través del tiempo. El monitoreo es un proceso iterativo que puede repetirse en cadena a través de secciones transversales mediante un arreglo

complejo de componentes biofísicos y sociales interactuantes.

¿Qué se Puede Lograr Mediante el Monitoreo de la Investigación?

El uso del monitoreo en proyectos de evaluación no se discutirá en este capítulo. Se hará referencia solamente al monitoreo como parte de los procesos de investigación y consultas agrícolas dirigidos, en su mayor parte, hacia la producción pecuaria en sistemas de doble propósito.

Hildebrand (1979) (citado por Shaner et al., 1986); Shaner et al., (1982); Dillon y Hardaker (1980) y Ewell (1988) propusieron métodos de recolección regular de datos para la obtención de información confiable y exacta en sistemas a nivel de finca. Diversos proyectos de investigación agrícola (CATIE, 1986; Cubillos et al., 1988; Isidor et al., 1988; Wadsworth, 1988) incluyen fases de monitoreo en sus propuestas. Ewell (1988) considera que el seguimiento es uno de los aspectos más valiosos de la investigación a nivel de finca, ya que sólo mediante este sistema es posible evaluar algunos aspectos de las condiciones del productor, particularmente los comportamientos estacionales y la varianza de los parámetros clave.

Los sistemas convencionales de investigación y extensión a nivel de finca demandan el uso del monitoreo o de encuestas dinámicas para la obtención de información; primero, para caracterizar los sistemas e identificar los problemas y oportunidades, y segundo, para validar los cambios o innovaciones. Una revisión reciente de la literatura relacionada con los sistemas de ganado doble propósito muestra que rara vez los proyectos de investigación mantuvieron el orden secuencial de la metodología de sistemas como se ha establecido convencionalmente, y las funciones de seguimiento o monitoreo han estado confundidas con ensayos a nivel de finca, unidades de demostración y

programas de transferencia de tecnología agrícola. A menudo, se ha perdido la significancia de la información que surge de las actividades de monitoreo, debido a que se confunde con la introducción de fuentes de variación en el proceso de investigación. Sin embargo, esto no siempre ocurre, como lo demuestra un estudio de Wadsworth (1990) sobre el efecto de diferentes niveles de extensión, que utiliza un programa de monitoreo organizado para vigilar las prácticas de los ganaderos antes y durante dicho proceso de extensión.

El monitoreo facilita la identificación de las limitaciones para la producción y las soluciones posibles, como las perciben tanto los productores como los investigadores. Esto se logra mediante la proporción de suficiente información en forma exacta para conceptualizar el sistema y desarrollar un ambiente colaborativo en el proceso de investigación entre productores e investigadores.

Pocos programas de monitoreo han tenido enfoques genuinamente interdisciplinarios y/o holísticos para la recolección de información. Los intereses de investigación de los científicos involucrados han afectado la información recopilada. En algunos casos, esto ha dado lugar a recomendaciones que difieren poco de aquellas generadas por investigadores que no han hecho un ejercicio de monitoreo. Nuevamente, existen excepciones, como en el caso de Vaccaro et al. (1995) que han seleccionado temas para investigación con base en los resultados del monitoreo y han hecho aportes valiosos a la ciencia y a los productores pecuarios.

Otros proyectos han apoyado la toma de decisiones de los productores pecuarios mediante un servicio de monitoreo e información de retorno, tal como los Programa GTZ en Colombia, y Holandés-Facultad de Veterinaria de la Universidad Nacional en Costa Rica. Estos programas sólo han tenido éxito cuando los sistemas cuentan con recursos económicos suficientes, como es el caso de explotaciones intensivas de cerdos y vacas lecheras. En

los sectores menos rentables es improbable que los productores reúnan los costos que implica la toma de datos complejos, y su manejo y procesamiento.

Una iniciativa más reciente y promisoría es la evaluación del impacto ambiental a nivel de productor con base en el seguimiento de los cambios en indicadores ambientales (Drucker et al., 1996). Estos programas son particularmente relevantes donde los sistemas de producción pecuaria perjudican directa o indirectamente el ambiente y los productores están interesados en evaluar cambios en las prácticas agrícolas que puedan revertir esta tendencia. Las auditorías ambientales se pueden utilizar como bases de datos contra las cuales es posible hacer el monitoreo de indicadores de comparación para juzgar el impacto ambiental de los cambios.

El Proyecto Colaborativo Universidad de Yucatán-Universidad de Londres utiliza en el sudeste de México el monitoreo de sistemas agropecuarios como componente del proceso de investigación. En el Cuadro 1 se presenta el estado de dicho proceso. Una vez seleccionado el sistema que se quiere investigar, se hace un seguimiento en cada estado sucesivo hasta la difusión de los resultados. Esta estrategia ha sido útil para el mantenimiento de un enfoque aproximado del problema, la medición de la respuesta a cambios en las condiciones, la participación de los productores y el establecimiento de una relación estrecha entre productores e investigadores. Para responder a los interrogantes identificados durante la fase inicial de monitoreo se emplea una combinación de actividades de investigación y encuesta. La combinación específica elegida entre experimentación con productores, desarrollo de tecnologías participativas, ensayos a nivel de finca e investigación en estación experimental depende del conocimiento e información relevante disponible, los recursos disponibles para los productores e investigadores y la naturaleza del problema. El monitoreo sigue siendo importante en este momento, y lo será en el futuro, para la

validación de resultados. Este enfoque se está empleando a través de un rango de sistemas agropecuarios, incluyendo ganado de doble propósito, sistemas semicomerciales tradicionales, y producción comercial de cerdos.

El gasto involucrado en el monitoreo se ha equilibrado con el valor de la información obtenida y de la experiencia en sí, y la forma como beneficia el éxito de la investigación. El monitoreo bien hecho proporciona una gran cantidad de información que posteriormente se puede utilizar para diferentes análisis de epidemiología veterinaria, economía agrícola y producción animal. En efecto, la justificación más valiosa de este sistema es proporcionar una base de datos ecléctica que facilita muchos análisis e incentiva una apreciación interdisciplinaria, por el hecho de provenir de una sola fuente: el agroecosistema (finca/hato). El acto mediante el cual el investigador se aproxima lo suficiente al sistema en finca para conocer el desempeño individual de los animales, la rentabilidad de los hatos, los pensamientos, prejuicios y lógica de los productores individuales, proporcionan un enfoque holístico invaluable a la investigación agropecuaria. Mucho tiempo se invierte tratando de simular sistemas de producción pecuaria y sus componentes sin aprender acerca de la realidad de los productores. A menudo, el tiempo puede aprovecharse mejor aprendiendo directamente de los sistemas pecuarios mediante un programa de monitoreo interactivo.

Cómo Establecer un Sistema de Monitoreo

La mecánica de monitoreo de los sistemas pecuarios y los aspectos relacionados han sido revisados y desarrollados por diversos autores; específicamente en el caso de la ganadería se deben mencionar los trabajos de Andrew y Hildebrand (1982, 1986), Bernstein et al. (1983), Boden (1995) y Wadsworth (1995).

Cuadro 1. Estados en el proceso de investigación del Proyecto Colaborativo Universidad de Yucatán-Universidad de Londres. Yucatán, México.

Etapas de investigación	Actividad	Fuentes de información
Selección del sector pecuario	Revisión de información secundaria.	Censo, estadísticas de población. ONGs, CBOs, SNIA y servicios de extensión.
Selección del sistema pecuario	Encuestas estáticas. Evaluaciones en el área rural (general).	Sistemas pecuarios. Productores y familias. Personas de áreas rurales.
Identificación de interrogantes para investigación	Seguimiento o monitoreo. Evaluaciones en el área rural (tópico). Análisis de la información del monitoreo.	Sistemas pecuarios. Productores y familias. Personas de áreas rurales.
Actividades de investigación y averiguación para responder los interrogantes	Experimentación con productores (seguimiento). Desarrollo de tecnologías participativas (seguimiento). Ensayos a nivel de finca. Investigación en estación experimental.	Productores. Talleres con productores. Experimentos y resultados de tratamientos.
Validación de resultados	Seguimiento o monitoreo.	Productores, sistemas en fincas.
Difusión	Productor a productor. Manuales y folletos. Radio.	

En el Cuadro 2 se presenta un resumen de las etapas o pasos para establecer y ejecutar un sistema de monitoreo en un hato de ganado de carne y más adelante se presenta un ejemplo de las actividades que en este sentido desarrolla el Proyecto Colaborativo Universidad de Yucatán-Universidad de Londres en el programa con animales de doble propósito.

El programa de monitoreo o seguimiento se puede basar en la metodología desarrollada para el análisis de agroecosistemas (Conway, 1985), tanto en términos de combinación de los métodos de recolección de información y en la triangulación de las fuentes de ésta, como también en la importancia de mantener tres fuentes de datos: el sistema de interés (finca o hato), el contexto (ambiente local) y los subsistemas (interacción animal/pastura).

Como el programa involucra más de una definición específica de lo que se monitorea y de la forma como se desarrolla esta actividad, existen programas comerciales que incluyen un menú establecido de la información a recopilar en los sistemas pecuarios específicos. Aunque estos programas han sido desarrollados como un apoyo al manejo de fincas y animales, se considera que no son los más adecuados para proyectos de investigación que incluyan actividades de monitoreo. Estos programas tienden a distanciar el analista de los datos, operan algoritmos preestablecidos y producen parámetros que no son necesariamente los más útiles para los objetivos de investigación. Debido a la disponibilidad actual de bases de datos versátiles y de hojas electrónicas para simulación, sería más efectivo para los investigadores emplear el tiempo en el

Cuadro 2. Procedimiento y consideraciones para el desarrollo de un sistema de monitoreo de producción pecuaria.

Etapas para establecer el monitoreo	Consideraciones
1. Fijación de los objetivos	Los objetivos definen los métodos utilizados. Los análisis utilizados determinarán el tipo y la frecuencia de toma de información.
2. Reconocimiento informal de los sitios	La evaluación a nivel rural es muy útil en este estado, si no se ha realizado anteriormente.
3. Modelos conceptuales de la estructura del agroecosistema	Es necesaria la consulta con productores y especialistas en agroecosistemas. El programa de monitoreo hará el muestreo en el agroecosistema en el momentos clave, para lo cual se utiliza el modelo conceptual.
4. Diseño de métodos apropiados para recolección de información	Uso de los métodos formal e informal para obtener información cuantitativa y cualitativa. Qué tipo de información es útil para el productor y cómo. Qué otra información se requiere. Tres niveles de averiguación: sistema, contexto y subsistemas. Mecanismos para información de retorno a los productores.
5. Alcance del plan y duración; ej.: número de regiones, sistemas, fincas, animales por hato, número y frecuencia de visitas, etc.	El tamaño de la muestra debe ser lo suficientemente representativo. Se debe disponer de los recursos humanos, equipo y sistema para la recolección y procesamiento de la información. La tasa de deserción de los participantes no debe ser mayor de 25%.
6. Selección y entrenamiento del personal para trabajo de campo	Se prefieren personas nativas sin restricciones de idioma. Capacitación del personal principal en la recolección, procesamiento y análisis de la información.
7. Selección de productores invitados a participar en periodo piloto de monitoreo	Definir el perfil de la finca y el productor deseado. La finca debe ser de fácil acceso durante todas las épocas del año.
8. Período piloto y ajuste del sistema de monitoreo, según los hallazgos	La duración debe ser, por lo menos, de un ciclo completo. Recolección y procesamiento de la información. Análisis de ensayos. Participación de los resultados con productores.
9. Programa total de monitoreo	Controles regulares para validar la información y triangulación de las fuentes.

diseño de los archivos de información requeridos, en lugar de utilizar programas comerciales.

En el caso de información cualitativa no existen programas automatizados de monitoreo para ganado que incluyan la toma de este tipo de información, de tal

modo que pueda ser analizada. Actualmente se están desarrollando programas sistematizados para la recolección, procesamiento y análisis de esta información. Indudablemente, los estudios de adopción e innovación se beneficiarán de tales desarrollos.

Análisis de Datos de Monitoreo

En el Cuadro 3 se resumen los métodos para obtener diferentes tipos de información en programas de monitoreo en un agroecosistema de producción pecuaria; igualmente se presenta el análisis posible y se analiza su utilidad.

En este caso se hace el análisis de la información obtenida a partir de un programa de monitoreo utilizado para la caracterización de agroecosistemas, la identificación y priorización de problemas, la definición sobre el conocimiento de prácticas pecuarias, la existencia de sistemas de información, e identificación de indicadores de sostenibilidad. Es necesario reconocer que la información del monitoreo es útil para la validación de los cambios y la determinación de la tasa de adopción y adaptación de nuevas tecnologías.

Como se observa en el ejemplo del Cuadro 3, un programa de monitoreo bien estructurado que utiliza métodos adecuados de recolección de información complementaria puede producir resultados bajo diferentes formas de análisis. Esto es particularmente importante para la caracterización e identificación del estado de los problemas y enfatiza la necesidad de la investigación interdisciplinaria. Sin embargo, la limitación de recursos financieros para investigación rara vez permite que los programas de monitoreo sean tan amplios como la ciencia lo desea. Por tanto, las decisiones estratégicas se tienen que tomar con base en la información que es posible reunir y en el análisis que se vaya a realizar. La relación información:análisis se debe maximizar en favor del segundo, para garantizar, de esta forma, la validez de los análisis y la representatividad de la información.

En el monitoreo, los análisis paramétricos y las suposiciones son similares a los que se aplican en los estudios de caso y encuestas, siendo válidos los resultados de los análisis en la

medida en que el marco de la muestra sea representativo.

El monitoreo rara vez puede ser igual a los diseños experimentales, debido al escaso número de variables que se pueden controlar. En consecuencia, en el Cuadro 3 se indica que el análisis del comportamiento animal se realiza para clasificar variables independientes en términos de la cantidad de varianza que ellas explican de la variable de respuesta bajo investigación. Por ejemplo, la producción diaria de leche por vaca se puede analizar utilizando regresión lineal con un modelo que incluye, entre otras variables independientes, hato, año, estación, estado de lactancia, genotipo y condición corporal. Con un número suficiente de observaciones dentro y entre vacas, las variables independientes se pueden clasificar en términos de su influencia relativa en la expresión de la variable dependiente. Sin embargo, para sacar conclusiones de los efectos absolutos de las variables independientes y de la naturaleza de la respuesta a los niveles o categorías dentro de las variables independientes es necesario disponer de muchos datos de monitoreo a partir de experimentos controlados. Por tanto, los resultados del monitoreo se pueden utilizar para determinar qué clase de experimento se conducirá, bajo qué condiciones y con qué tratamientos.

Los datos cuantitativos de programas de monitoreo se pueden utilizar para alimentar modelos de simulación y, por tanto, aumentar la relevancia de los modelos a los sistemas de producción reales. El peligro, en este caso, está en diseñar el programa de monitoreo para alimentar el modelo, en lugar de analizar la información del monitoreo y luego decidir si un modelo de simulación proporcionará información nueva para ajustar o diseñar el modelo.

Si el programa de investigación tiene impacto en el sector pecuario, los resultados de los análisis deben servir para retroalimentar a los productores en forma accesible y útil. Es decir, no se justifican los análisis de la información resultantes del

Cuadro 3. Ejemplos de fuente de información, métodos de averiguación, tipo de información, análisis y utilidad, para un programa de monitoreo de agroecosistemas de producción pecuaria.

Fuente de información	Método de averiguación	Tipo de información	Análisis	Utilidad
Hato	Cuestionario	Cambios en inventario animal. Ocurrencia de enfermedad	Cálculo de tasas de fertilidad. Tasas de incidencia de factores de riesgo	Caracterización e identificación de problema. Productividad biológica. Salud animal
Finca (recursos naturales)	Cuestionario Medición directa	Auditoría ambiental. Cambios en el uso de la tierra. Biodiversidad. Calidad del suelo y el agua	Uso de recursos naturales. Evaluación del impacto ambiental a nivel del productor	Caracterización e identificación de problema. Evaluación de sostenibilidad
Finca (manejo y registros)	Cuestionario Medición directa	Uso de mano de obra. Ventas y compras. Manejo animal	Relación costo/beneficio. Retorno a la inversión. Estrategia de manejo	Caracterización e identificación de problema. Productividad económica. Innovaciones en agricultura
Productor	Método informal	Objetivos de producción. Criterios de manejo. Preferencias. Contactos y fuentes de información	Análisis cualitativo	Caracterización e identificación de problema. Procesos de toma de decisiones. Definición de conocimientos y sistemas de información
Animales	Medición directa Cuestionario	Comportamiento animal individual. Factores ambientales y características de los animales	Jerarquización de variables independientes que afectan el comportamiento animal	Caracterización e identificación de problema. Identificación de factores que afectan el comportamiento y que pueden optimizarse mediante manejo
Plantas forrajeras	Medición directa Cuestionario	Mediciones de campo: crecimiento, valor nutritivo, composición de pasturas. Factores ambientales	Jerarquización de variables independientes que afectan la producción de forraje	Caracterización e identificación de problema. Mejorar manejo de forrajes
Ambiente de mercado	Observación directa Cuestionario Evaluación rural	Precios de productos y subproductos y costos de insumo con el transcurso del tiempo. Infraestructura	Presupuestos parciales. Eficiencia económica. Vías de comercialización	Caracterización e identificación de problema. Análisis financieros para comparar empresas y fincas agrícolas
Ambiente natural (entorno de la finca)	Observación directa Cuestionario Evaluación rural	Cambios en la calidad del suelo, el agua y el aire. Biodiversidad	Evaluación del impacto ambiental	Identificación de problemas que afectan las prácticas agrícolas en un ambiente local
Política ambiental	Observación directa Cuestionario	Subsidios, crédito y asistencia técnica	Proporción de ingresos de gobierno. Fuentes de información	Caracterización e identificación de problema. Sensibilidad al cambio político. Definición de conocimientos y sistemas de información

monitoreo que sólo se usan para caracterizar sistemas y no pueden trasladarse a áreas prioritarias de la investigación o a los productores que toman decisiones.

Interfase entre Monitoreo e Investigación Participativa

Algunos de los centros internacionales y los servicios nacionales de investigación en unos pocos países han hecho cambios en sus métodos de investigación e incluyen a los productores en los procesos de investigación y extensión como actores, en lugar de dejarlos como clientes o adjudicatarios. Estas innovaciones se conocen como investigación participativa con productores (IPP), que se caracteriza por: (1) la importancia de la información cualitativa y los métodos informales de recolección y generación de la información, (2) la importancia del sitio o especificidad de las innovaciones, y (3) la contribución de las evaluaciones con productores en la generación de tecnología.

La literatura disponible permite separar la investigación participativa en dos partes. La primera, donde la participación tiene un significado sociopolítico y como objetivo central el trabajo de investigación mediante el estímulo de las personas y la creación de organizaciones locales que facilitan el establecimiento de grupos capacitados. En este caso se hace referencia, tanto a la actividad de investigación participativa (AIP) como a la evaluación participativa rural (EPR), y cuando este tipo de investigación se realiza con productores comprometidos se denomina IPPC. La segunda forma de investigación participativa con productores es la interactiva (IPPI), la cual se discutirá con más detalle en este capítulo.

La IPPI tiene metas pragmáticas derivadas del deseo de hacer investigación relevante para productores marginados y lograr impacto con el trabajo de investigación en estos sectores. Los productores son reconocidos como socios

en el proceso de investigación y se intenta reforzar el conocimiento científico con los conocimientos de ellos para lograr una sinergia en los adelantos de la investigación. Para la incorporación de los productores en el proceso se utilizan métodos y resultados de investigación para que ellos actúen como evaluadores de germoplasma, controlen plenamente los ensayos y contribuyan a la experimentación en la finca.

Existe complementariedad entre las estrategias de la IPPI y el monitoreo de agroecosistemas, debido a que este último conduce a mejorar la relación entre el productor y el investigador, al análisis conjunto de la información y al control por parte del productor de la investigación en fincas. El monitoreo coloca a los investigadores frente a frente con los agroecosistemas. En la fase de investigación y más adelante en la fase de extensión, se puede utilizar el monitoreo mixto que incluye métodos formales e informales y, particularmente, talleres con productores. Lo anterior puede servir como base para el trabajo con comunidades marginadas. Los investigadores que se interesan y participan con los productores de los procesos de adopción y adaptación de nuevas tecnologías están capacitados para fijar las prioridades de la IPPI en el futuro; además, llegan a conocer los criterios de los productores para evaluar alternativas tecnológicas, los métodos de experimentación en fincas y las alternativas de sistemas de información y enseñanza para productores marginados.

Muchos programas productor a productor han logrado impacto a nivel de la comunidad, pero han fallado en el impacto sobre la investigación convencional y sobre quienes hacen las políticas agropecuarias, precisamente porque carecen de la información que los programas de monitoreo pueden proporcionar.

Las personas involucradas y las comprometidas en la IPPI están experimentando los beneficios de los nuevos vínculos entre organizaciones. Los servicios nacionales de investigación, los centros internacionales de investigación, ONGs, CBOs

y los organismos con recursos financieros multilaterales están tomando parte en arreglos tripartitas que benefician a todos los participantes, debido a la complementariedad técnica, sociocultural y financiera entre ellos.

Como se mencionó anteriormente se están desarrollando los parámetros de la IPPI que permitan identificar los indicadores de sostenibilidad a nivel de finca y de agroecosistema. Estas iniciativas pueden contribuir directamente a movilizar los sistemas pecuarios hacia una mayor sostenibilidad, tanto por el mejoramiento de la toma de decisiones por el productor, como por una mejor información a las personas que hacen las políticas agropecuarias con énfasis en sostenibilidad.

Tanto la IPPI como la IPPC juegan papeles importantes en el desarrollo de la agricultura. Los investigadores deben involucrarse en este proceso y un método para lograrlo es el monitoreo mixto.

El Monitoreo Como Parte del Programa FMVZ-UADY¹

En 1990, la Facultad de Medicina Veterinaria y Producción Animal de la Universidad Autónoma de Yucatán inició un estudio de sistemas de producción animal que incluye ganado vacuno, cerdos, aves de corral y abejas que son los recursos más importantes desde el punto de vista económico y social en el Estado de Yucatán.

A continuación se describe el estudio de producción de ganado vacuno que sirve como base para identificar las condiciones actuales de producción, los principales problemas y limitaciones, y evaluar su sostenibilidad en términos de uso de recursos y viabilidad económica. El objetivo del estudio fue generar suficiente

información para orientar la enseñanza en cursos básicos y de posgrado y para identificar áreas prioritarias de investigación.

Desarrollo del programa

La metodología empleada en el estudio se adaptó de la investigación en sistemas agrícolas descrita por Shaner et al. (1982). El proceso de investigación se dividió en tres estados principales, que se describen en el Cuadro 4.

Encuesta estática

Después de revisar la información secundaria se encontró que era necesario realizar una encuesta estática de producción de ganado en el Estado de Yucatán, debido a la falta de información exacta y actualizada. Las estadísticas oficiales de producción pecuaria difirieron ampliamente entre fuentes, y mucha información del inventario del hato se encontraba perdida; por tanto, fue necesario establecer una base de datos inicial. La encuesta estática sólo fue un punto de esta base inicial. El número total de los hatos ganaderos se estimó utilizando información primaria de instituciones del gobierno nacional y estatal. La información recolectada reveló la existencia de 1660 hatos ganaderos matriculados, equivalentes alrededor del 80% del total estimado por el personal del gobierno estatal.

Como elemento principal para la recolección de datos de campo se utilizó un cuestionario formal que cubría los aspectos relacionados con la estructura del hato; el uso de recursos, insumos y productos; las estrategias de manejo; el uso de mano de obra y el acceso a crédito y asistencia técnica. Para el trabajo, el Estado de Yucatán se dividió en las zonas central, oriental y sur, y en cada una de ellas se consideró como adecuada una muestra de 10% de las fincas ganaderas. Las visitas y las entrevistas a los productores se hicieron al azar dentro de cada rango de tamaño de las fincas. En el inicio del estudio se eliminaron los sistemas domésticos de

1. Facultad de Medicina Veterinaria y Producción Animal de la Universidad Autónoma de Yucatán, Yucatán, México.

Cuadro 4. Proceso de investigación en el Programa de Monitoreo de la Facultad de Medicina Veterinaria y Producción Animal de la Universidad de Yucatán. Yucatán, México.

Etapas de investigación	Actividades y técnicas
Revisión de datos secundarios	Discusión multidisciplinaria
Encuesta estática	Encuesta básica. Análisis de datos por los grupos de investigación.
Encuesta dinámica	Monitoreo mensual para mediciones en los animales, observaciones, charlas informales.
Encuesta dinámica piloto	Análisis de datos y discusión de los investigadores con los productores. Técnicas de participación.
Identificación de problemas y limitaciones y alternativas para su solución	

producción, por ejemplo, en patios o para consumo familiar, ya que no se consideran como sistemas comerciales de producción pecuaria; igualmente se eliminaron del estudio los hatos administrados en escuelas técnicas o instituciones del gobierno. De un total de 224 fincas ganaderas visitadas, se eliminaron dos por falta de datos para el análisis.

Se identificaron seis sistemas locales de producción, según los productos finales y el tipo de manejo animal (Cuadro 5). Se clasificó como sistema de doble propósito aquel hato en el cual algunas vacas amamantaban sus terneros mientras eran ordeñadas y la finca producía leche y carne, o leche y animales para cría y levante. Debido al bajo número en la muestra, se eliminó el análisis de los hatos en el sistema de producción intensiva de leche.

La presentación y discusión de los resultados obtenidos en la encuesta estática fueron publicados por Anderson et al. (1995) y por Santos y Anderson (1995). Para el análisis de los datos se utilizaron estadísticas descriptivas, análisis de varianza y multivariado. Los resultados mostraron que existe una amplia variación entre y dentro de sistemas en términos de uso de recursos y características operacionales en las fincas. El uso de pasturas en las épocas de lluvias era el recurso básico de los productores de carne el cual, en algunos casos, combinaban con sistemas de corte y acarreo de forrajes cultivados bajo riego. Pocos productores persistían en la práctica antigua de permitir el ramoneo de los animales en áreas naturales. La alimentación suplementaria de los animales con subproductos de la

Cuadro 5. Productos principales y ocurrencia de seis sistemas de producción ganadera identificados en el Estado de Yucatán, México.

Sistema	Número	% del total	Productos importantes
Doble propósito	37	16.67	Leche; animales para engorde, beneficio y reemplazo
Novillos de engorde	54	24.33	Animales terminados para beneficio
Mejoramiento	22	9.90	Toros y novillas para reproducción y beneficio
Producción de destetos	55	24.78	Terneros destetados para engorde
Engorde de terneros	50	22.52	Machos terminados para beneficio
Producción intensiva de leche	4	1.80	Leche, terneros para reemplazos y engorde

agroindustria, principalmente residuos avícolas y melaza, era común en las fincas encuestadas. El análisis de los componentes principales de producción (Cuadro 6) mostró que las características diferenciales más importante entre fincas eran el uso de alimentos suplementarios para vacas y terneros, la densidad de carga animal y la elaboración de registros, seguidos del tamaño de la finca y del hato que presentaron una alta correlación entre ellos, la asistencia técnica disponible para el productor, el hato como fuente única de ingresos y la contratación de mano de obra.

Aunque en el análisis de los componentes principales de producción se identificó un número suficiente de variables para explicar las diferencias entre fincas, aquellas no explicaron las diferencias entre fincas dentro de sistemas de producción iguales (Figuras 1A, 1B y 1C). Los resultados demostraron que era necesario hacer investigación adicional en un sistema específico de producción. Igualmente, las fincas de doble propósito mostraron la mayor variación dentro de los sistemas de producción; y en las fincas de tamaños pequeño y medio, este sistema era el más

común e intensivo, en términos de uso de recursos y densidad de carga animal y se consideró como el más importante para continuar las investigaciones, debido a que tiene las características siguientes: (1) posee un tamaño entre pequeño y medio; (2) en México, la mayor parte del sistema doble propósito se encuentra en tierras ejidales; (3) dispone, generalmente, de un acceso limitado a crédito y asistencia técnica; (4) este sistema de producción pecuaria es la fuente principal de ingreso para el productor y demanda un alto volumen de mano de obra fija y ocasional; (6) es el sistema de producción de leche más importante en el Estado de Yucatán; y (7) es un sistema complejo, que hasta ahora no ha sido estudiado adecuadamente.

Encuesta dinámica

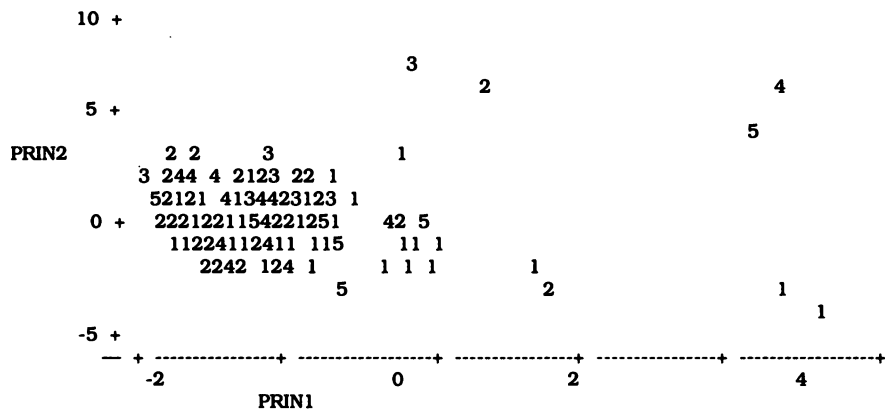
Objetivos. Esta encuesta tuvo como objetivos: (1) Describir la dinámica del sistema de doble propósito a nivel de finca, del hato y de los animales. (2) Identificar limitaciones técnicas y económicas del sistema de doble propósito. (3) Identificar alternativas para el desarrollo y discutir las implicaciones para los productores, los

Cuadro 6. Descripción del vector de Eigen relacionado con cada componente principal de producción.

Variable	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Tierra total	-0.016900	<u>0.456454</u>	0.015666	0.166998	-0.484402
Area en forrajes	0.297562	<u>0.301559</u>	0.144340	-0.396447	-0.294798
Carga animal	<u>0.354183</u>	-0.252045	0.204032	0.187308	0.492536
Suplemento para vacas	<u>0.474132</u>	-0.144458	-0.042486	0.157358	-0.308495
Registros individuales	<u>0.504684</u>	0.152692	0.049182	0.264513	0.104537
Control estacional de apareamiento	<u>0.335726</u>	-0.182243	-0.438013	0.184587	-0.178916
Manejo del pastoreo	-0.178691	0.271959	<u>0.364669</u>	0.411347	0.202978
Area bajo riego	0.297513	0.217211	0.155534	-0.164798	0.275102
Trabajo de los hijos en la finca	0.021243	0.070285	<u>0.579269</u>	0.195771	-0.208626
Asistencia técnica	0.072840	<u>0.366390</u>	-0.339595	0.242201	0.153706
Otros negocios de importancia	-0.160190	<u>0.390561</u>	-0.364909	-0.014425	0.249517
Mano de obra ocasional	0.204071	0.383312	0.001425	0.081717	0.226846

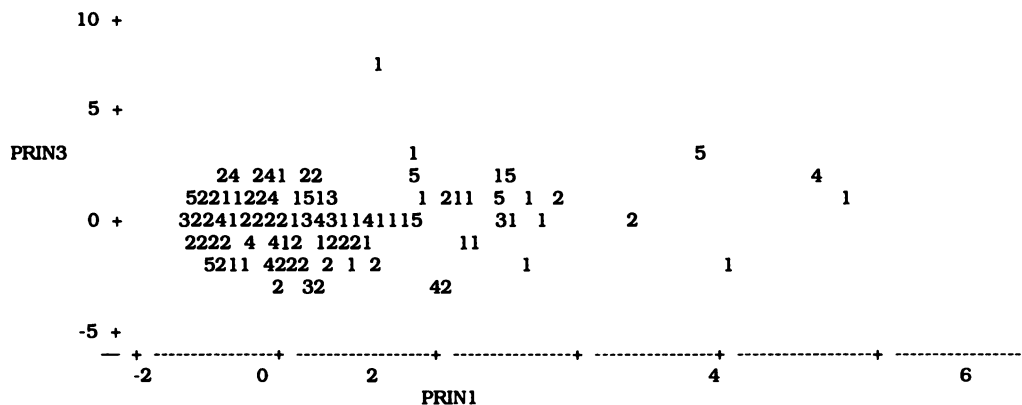
CP = Componente principal de producción.

A = PRIN2*PRIN1



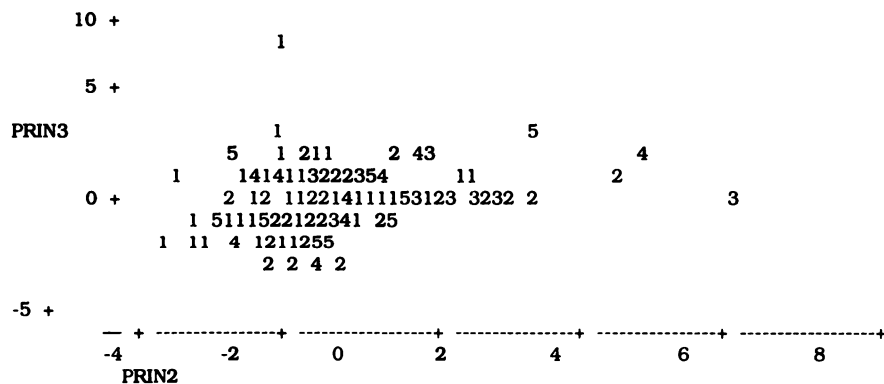
NOTA: 124 obs. ocultas

B = PRIN3*PRIN1



NOTA: 121 obs. ocultas

C = PRIN3*PRIN2



NOTA: 128 obs. ocultas

Figura 1. Ejemplo de la representación gráfica de los componentes principales de los sistemas de producción en fincas del Estado de Yucatán, México.

funcionarios que toman decisiones, la educación y la investigación.

Planeación. Antes de comenzar el trabajo de campo se realizó un reconocimiento de los principales factores que afectan el sistema y sus relaciones, lo que es útil para identificar los parámetros que se deben monitorear. El procedimiento tiene como objetivo conseguir una percepción completa de la dinámica del sistema, tanto en términos de componentes internos como de factores externos y su interrelación. Con base en los resultados obtenidos en la encuesta estática se decidió hacer el monitoreo del sistema de doble propósito en tres niveles: el animal individual (producción, reproducción, condición corporal, salud), el hato (manejo) y la finca (compras, ventas, mano de obra).

En cada finca, el monitoreo de la metodología básica se hizo mensualmente. Para la recolección de datos se utilizaron varios métodos que incluyeron: cuestionarios, medición directa, observación, entrevistas informales y estimación. Los datos se registraron y almacenaron en hojas previamente preparadas. Después de la encuesta mensual se registró la información sobre inventario animal, producción y venta de productos, salud animal y alimentación, compras de elementos para operación de la finca (lubricantes, alimentos para animales, alambre para cercas...), mano de obra permanente y ocasional. Con la misma frecuencia, en cada finca se registraron las observaciones directas de diagnóstico de mastitis, cría de terneros, condición corporal de los animales y producción de leche de las vacas en forma individual. Para los registros de desempeño reproductivo y cálculo de los parámetros de reproducción, nacimientos, abortos, apareamiento y servicios se utilizaron tarjetas individuales. De la misma manera se registraron los eventos de lactancia, tales como fechas de inicio y finalización de ésta. Todos los elementos monitoreados se describieron en un cronograma señalando las técnicas y el método o procedimiento según la naturaleza

de cada variable, así como la base de datos y los parámetros que se deberían calcular. Para probar la metodología se estableció un programa de monitoreo piloto que incluyó el análisis de los datos y la discusión del grupo de investigadores con los productores, para lo cual se utilizaron técnicas de investigación participativa.

Encuesta dinámica "piloto". Parte de los resultados obtenidos en esta encuesta fueron publicados por Anderson et al. (1992). El objetivo principal en este estado fue ganar experiencia con la metodología e identificar defectos u omisiones en los procedimientos de registro, además de: (1) probar métodos de monitoreo en sistemas de doble propósito; (2) recolectar datos "dinámicos" sobre animales individuales relacionados con producción y reproducción en hatos de doble propósito; y (3) recolectar datos "dinámicos" a nivel de hato sobre la rentabilidad del sistema de doble propósito.

Se confirmó que mediante una aplicación cuidadosa del procedimiento de monitoreo es posible obtener información valiosa para análisis e identificación de factores limitativos de la producción a niveles de la finca, el hato y los animales. También es posible hacer comparaciones económicas que permiten comprender las causas de las variaciones existentes entre fincas.

Se encontró una alta variación en la rentabilidad de la producción de leche entre fincas. Incluso, el rendimiento de leche por vaca mostró igualmente una alta variación debido a la influencia de factores como número de ordeños por día, manejo del ternero, nivel de mastitis, condición corporal de las vacas y tipo de alimentación. Los resultados del monitoreo piloto justificaron una propuesta tendiente a la obtención de información detallada en los niveles mencionados en fincas en otras regiones y durante un periodo de tiempo más largo. Se percibió la necesidad de incluir en la encuesta estática cada una de las regiones donde se identificaron sistemas de doble propósito, debido a la evidencia de

una alta variación entre fincas dentro de la zona y a la probabilidad de una variación igualmente alta entre zonas.

Encuesta dinámica completa. Un problema común asociado con esta clase de estudio es la identificación del grupo de productores objetivo y su representatividad en relación con otros productores dentro del mismo sistema y región. En el presente caso se decidió realizar una identificación de todas las fincas de doble propósito en tres diferentes zonas de Yucatán; para el efecto, se realizó un censo en las explotaciones de este tipo localizadas en las zonas oriental y sur del estado. Este trabajo no se realizó en la zona central porque todas las fincas de doble propósito estaban ubicadas una al lado de la otra. La mayoría de los productores identificados en la encuesta estática se contactaron nuevamente y se les pidió información sobre otros productores que en ese momento estaban produciendo leche en sus fincas. Estos últimos se visitaron posteriormente.

Los centros de recolección de leche en las zonas oriental y sur constituyeron fuentes importantes de información y de contacto con productores. En cada finca se utilizó un cuestionario similar a aquel utilizado en la encuesta estática, enfatizando en la recolección de información que permitiera una selección adecuada de la finca, con base en los criterios siguientes: (1) sistema de producción de doble propósito, (2) finca preferiblemente ejidal y de pequeño productor, (3) productores dispuestos a participar, y (4) la finca debería ser la fuente más importante de ingreso familiar y de fácil acceso durante todas las épocas del año.

Todas las fincas identificadas como de doble propósito se consideraron candidatas para ser incluidas en la encuesta dinámica. El número de ellas incluido en el proyecto de investigación por zona dependió del personal disponible para asistirles y del cumplimiento de los criterios de selección. Una vez se determinó que por cada zona participarían 20 fincas, la selección final se hizo por sorteo.

Resultados

Para una mejor interpretación, los resultados se presentan divididos entre los obtenidos por monitoreo en fincas y los generados mediante la aplicación de técnicas de evaluación.

Monitoreo en fincas. Con base en datos de fincas localizadas en la zona oriental de Yucatán se presentan algunos ejemplos descriptivos y el comportamiento financiero según los márgenes brutos y la distribución del ingreso y los gastos. Con datos de la misma zona se presentan, también, análisis de comportamiento animal utilizando modelos lineales y análisis multivariados para integrar grupos homogéneos de productores con problemas comunes (ver Cuadros 7 a 10). El inventario del total de animales durante el año (Cuadro 9) aumentó en 22 animales (841 vs. 863), pero el promedio del tamaño del hato (vacas por finca) disminuyó de 30 a 25 y el inventario de vacas adultas disminuyó de 360 a 310. La relación terneras preñadas:vacas adultas no varió, pero las relaciones terneros y terneras en crecimiento:vacas adultas, y hembras en crecimiento (preñadas y sin preñar):vacas adultas, aumentaron ligeramente. El desempeño de las vacas varió entre fincas, debido a las diferencias en genotipo animal, sistema de cría, calidad de los insumos y recursos disponibles (Cuadro 10).

Análisis financiero a nivel de fincas. En el Cuadro 11 se incluyen los resultados del cálculo de algunos indicadores financieros correspondientes a 1 año en fincas localizadas en las zonas central, oriental y sur de Yucatán. Se pudo observar una alta variabilidad entre fincas, y en casi todas ellas el valor del inventario animal disminuyó durante el año. El ingreso diario de los productores es similar al salario mínimo regional por día durante el periodo de estudio (\$15.00). Parece que el margen bruto, en términos de ingreso diario de dinero en efectivo de la mano de obra familiar, mejora a medida que la cantidad de carne vendida es mayor y está altamente correlacionado con el tamaño de la finca y el hato (Cuadro 12).

Cuadro 7. Características socioeconómicas de fincas de doble propósito en la zona oriental de Yucatán, México.

Característica	Descripción
Edad del productor (años)	40-70
Escolaridad del productor (años de estudio)	Entre 1 y 6
Dependientes de la finca (no. personas)	Entre 3 y 10
Hijos del productor que trabajan en la finca (no.)	Entre 1 y 4
Escolaridad de los hijos (años)	Entre tercer y sexto grado
Actividad económica previa del productor	Cultivo de milpa, producción de ganado de carne
Años trabajando en la finca (no.)	Entre 10 y 20
Formas de conocimiento del sistema doble propósito	Experiencia, reuniones técnicas
Años de trabajo en sistema doble propósito (no.)	Entre 4 y 20
Motivo de preferencia del sistema doble propósito en relación con ganado de carne	Flujo diario de dinero en caja
Otras ocupaciones	Transportador, empleado
Importancia de otras ocupaciones	Baja
Propiedades	Tierra, infraestructura, equipo y ganado financiado
Capital financiero	Propio (en pocos casos), crédito y en participación con familiares
Apoyo financiero	Ocasional por parte del gobierno
Situación económica actual	Estable

Cuadro 8. Estadísticas descriptivas del uso de la tierra en fincas de doble propósito de Yucatán, México.

Uso de la tierra	Significancia $\pm$ D.E.	Valor mínimo	Valor máximo
Matojo (barbecho)	9.60 $\pm$ 11.91	0	33.5
Forraje para corte y acarreo	1.15 $\pm$ 0.55	0.5	2.0
Area de pastoreo	0.90 $\pm$ 18.59	25.0	85.0
Cultivos	0.80 $\pm$ 1.68	0	4.0

Cuadro 9. Promedio del inventario animal anual al inicio y al final del año financiero en fincas de Yucatán, México^a.

Categoría animal	Inventario inicial		Inventario final		Mensual
	Cabezas (no.)	(%)	Cabezas (no.)	(%)	Cabezas (no.)
Terneras	115	13.7	127	14.7	12
Terneros destetos	84	9.9	89	10.3	9
Terneras preñadas	40	4.8	57	6.6	6
Vacas en ordeño	82	9.8	98	11.4	10
Vacas secas	70	8.3	81	9.4	9
Vacas lactantes	208	24.7	131	15.2	13
Terneros	113	13.4	101	11.7	10
Novillos	50	5.9	122	14.1	12
Toros en engorde	64	7.6	42	4.9	4
Reproductores	15	1.8	15	1.7	2
Total	841	—	863	—	—

a. Datos de 10 fincas.

Cuadro 10. Resumen del desempeño de los parámetros de comportamiento animal en 10 fincas de la zona oriental de Yucatán, México.

Parámetro	Animales (no.)	Promedio $\pm$ D.E.	Rango
Intervalo de destete	127	355.07 $\pm$ 32.06	276 - 694
Longitud de lactancia (días)	102	218.00 $\pm$ 95.98	50 - 574
Longitud del periodo seco (días)	72	148.43 $\pm$ 87.17	11 - 455
Leche por lactancia (kg)	102	1355.87 $\pm$ 622.4	191 - 3254
Leche/vaca por día	102	5.16 $\pm$ 1.55	1.65 - 10.4

Cuadro 11. Indicadores financieros (Mex.\$) en fincas de doble propósito de la zona oriental de Yucatán, México.

Finca (número)	Margen bruto en efectivo ^a (MB)	Margen bruto total ^b (MBT)	Mano de obra familiar (MOF) (días/año)	Relación: MB/MOF	Relación: MBT/MOF
1	6315	6117	788	8.01	7.75
2	3017	-32,297	1182	2.50	-27.0
3	24,314	6312	1007	24.10	5.27
4	16,253	2673	1450	11.13	1.83
5	67,445	7480	1164	57.94	6.43
6	42,327	22,841	1450	28.99	15.65
7	22,712	27,387	1460	15.56	18.75
8	257,822	45,019	1343	191.95	33.52
9	14,889	11,502	773	19.24	14.85
10	45,436	14,792	1168	38.90	12.65

a. Ingreso-gastos en dinero en efectivo.

b. Ingreso total (dinero en efectivo +/- cambio en el valor del inventario animal)-gastos en dinero en efectivo.

Cuadro 12. Matriz de correlación de variables seleccionadas para el estudio de componentes de producción animal en fincas de Yucatán, México.

Componente	TOTAN	FAMLAB	FIXLAB	ANIVEN	ANICOM	FORARE	BARARE	AGREDA
Total animales (TOTAM)		—	—	—	—	0.4054	-0.2047	0.3852
Mano de obra familiar (FAMLAB)	0.1589	1.0000	0.3955	0.0623	-0.2444	-0.0225	0.4354	0.3730
Mano de obra fija (FIXLAB)	0.3514	0.3955	1.0000	-0.0722	-0.4630	0.0530	0.3505	0.2995
Venta animales (ANIVEN)	0.3548	0.0623	-0.0722	1.0000	0.4742	0.2998	0.2375	0.6693
Compra animales (ANICOM)	0.3253	-0.2444	-0.4630	0.4742	1.0000	0.4927	-0.1265	0.1022
Area en forraje (FORARE)	0.4054	-0.0225	0.0530	0.2998	0.4927	1.0000	0.0155	0.2034
Area en barbecho (BARARE)	-0.2047	0.4354	0.3505	0.2375	-0.1265	0.0155	1.0000	0.2508
Edad de productor (AGREDA)	0.3852	0.3730	0.2995	0.6693	0.1022	0.2034	0.2508	1.0000

Análisis multivariado. Los promedios de los valores mensuales de 14 variables cuantitativas se utilizaron para realizar el análisis de los componente principales de producción que explican las diferencias entre fincas (Cuadro 13). Para análisis posteriores se eliminaron el número total de vacas, las vacas de ordeño, el ingreso por venta de leche y el área total en pastoreo, ya que estaban altamente correlacionados con el número total de animales; el margen bruto en dinero efectivo también se eliminó, debido a su alta correlación con el área en pastoreo. Lo anterior significa que el tamaño de la finca está correlacionado con el comportamiento económico de la misma. Un valor de correlación superior a 0.7 se consideró como alto. En el Cuadro 12 se muestra la matriz de correlación de las variables seleccionadas en el análisis de

Cuadro 13. Listado de variables y promedios de los valores utilizados para calcular los componentes de producción animal en fincas de Yucatán, México.

Variables	Promedio $\pm$ D.E.
Vacas en ordeño en el hato	10.28 (8.19)
Total de vacas en el hato	35.5 (21.31)
Total de animales	85.5 (57.16)
Ingreso por venta leche (Mex.\$)	1552.50 (1307.33)
Mano de obra familiar (Mex.\$)	951.00 (575.00)
Mano de obra fija (Mex.\$)	1052.50 (113.82)
Ventas de animales (Mex.\$)	12,870.50 (676.30)
Compra de animales (Mex.\$)	1085.30 (1050.50)
Area total (ha)	61.58 (16.70)
Area en pastoreo (ha)	49.16 (17.81)
Area en forrajes (ha)	1.27 (0.59)
Area en barbecho (ha)	11.13 (7.78)
Edad del productor	50 (12.03)
Margen bruto en dinero en efectivo	50,053 (75,620)

D.E. = Desviación estándar.

componentes de producción. El principal objetivo en este caso fue controlar las variables no correlacionadas, según los valores especificados.

En los Cuadros 14 y 15 se muestran, respectivamente, los vectores de 'Eigen' de los componentes de producción estimados. La varianza acumulativa con tres componentes es alrededor de 70%, obteniéndose muy poco incremento en la explicación de la varianza total cuando se incluyen cuatro o cinco componentes. Para aceptar una variable en el cálculo de los componentes de producción se estableció un vector de Eigen superior a 0.3 (valores subrayados en el Cuadro 15). Por tanto, todas las variables seleccionadas se encontraron en los dos primeros componentes y los demás fueron rechazados. En la Figura 2 se muestra la distribución de estas variables.

El desempeño económico de las fincas depende de su tamaño y del número de animales, pero también depende de la capacidad de los productores para mantener un flujo intensivo de comercialización de estos últimos (ver variables en el Cuadro 14, componente 1). Aparentemente, los productores con más experiencia tienen más recursos y alcanzan un mejor comportamiento de sus fincas. Por otra parte, el 50% de ellos eran jóvenes y tenían recursos limitados de tierra y animales.

Análisis de regresión de los datos de comportamiento animal. En el Cuadro 16 se incluyen los resultados preliminares del análisis del modelo lineal correspondiente a los factores ambientales y de manejo más importantes en la producción diaria de leche por vaca en fincas de las zonas central y oriental de Yucatán.

Técnicas de evaluación rural. Durante la encuesta dinámica se realizaron conversaciones informales con los productores para conocer sus opiniones, objetivos e historia personal (ver Cuadro 7). Después de 2 años de monitoreo, se analizaron los resultados y se hizo un informe que se discutió con los productores.

Cuadro 14. Valores del vector Eigen de la matriz de correlación de los componentes de producción animal en fincas de Yucatán, México.

	Vector	Diferencia	Proporción	Acumulativo
PRIN1	3.76621	1.30208	0.342383	0.34238
PRIN2	2.46412	0.98184	0.224011	0.56639
PRIN3	1.48229	0.15506	0.134754	0.70115
PRIN4	1.32723	0.67055	0.120657	0.82180
PRIN5	0.65667	0.12549	0.059698	0.88150

Cuadro 15. Vectores de Eigen relacionados con los componentes de producción animal en fincas de Yucatán, México.

Componente	PRIN1	PRIN2	PRIN3	PRIN4	PRIN5
TOTAN	<u>0.396072</u>	0.1311966	0.361823	-0.273803	0.042294
FAMLAB	-0.027277	<u>0.455933</u>	-0.039809	-0.217849	0.716573
FIXLAB	-0.041474	<u>0.487556</u>	0.330172	-0.231799	-0.385044
ANIVEN	<u>0.367104</u>	0.136193	-0.486240	0.018723	-0.088891
ANICOM	<u>0.355621</u>	-0.202389	-0.050764	0.387265	0.391669
FORARE	<u>0.325091</u>	0.077272	0.1903047	0.400073	-0.190541
BARARE	-0.87105	<u>0.487843</u>	-0.222492	0.409259	0.059801
AGREDA	0.277310	<u>0.353141</u>	-0.325708	-0.234381	-0.120056

PRIN2*PRIN1.

PRIN2

4 +

j

2 +

bl

d

0 + AAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAAA

a

e

f

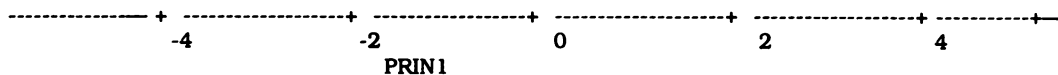
g

-2 +

h

c

-4 +

**Figura 2.** Ejemplo gráfico de la distribución de los componentes de producción identificados en fincas de Yucatán, México. Nota: cada finca se identifica con una letra.

Cuadro 16. Resultados de un análisis de las variables independientes del modelo lineal que influyen en la producción de la leche por vaca. ($R^2 = 0.388177$, $CV = 35.43988$, Media general = 6.1792, Y = Producción diaria de leche vendible por vaca).

Variable	G.L. ^a	Cuadrado medio	Valor de F	P > F
Grupo genético dentro de finca	27	206.7644	43.11	0.0001
Grupo genético	2	84.1304	17.54	0.0001
Número de lactancia	3	201.1382	41.94	0.0001
Cuartos sanos	1	25.4222	5.30	0.0214
Mes de lactancia	10	130.5213	27.22	0.0001
Cuartos ordeñados	3	250.4164	52.22	0.0001
Manejo del amamantamiento	2	12.9862	2.71	0.0001
Condición corporal	8	19.3017	4.02	0.0001
Estación	3	34.2869	7.15	0.0001
Año de parto	3	71.7393	14.96	0.0001

a. Grados de libertad.

Los principales componentes de este informe fueron el ingreso total y los gastos, parámetros de comportamiento animal—leche/vaca/día, intervalo entre partos, e incidencia de mastitis. Estos resultados se utilizaron también para desarrollar talleres de trabajo con los productores que permitieron identificar el bajo precio pagado por la leche, el alto costo de los insumos, la falta de crédito suficiente y la demora en los pagos de la leche vendida, como los problemas que más afectan sus actividades.

Al final de la encuesta dinámica todos los participantes estuvieron de acuerdo en continuar colaborando con las actividades de monitoreo en sus fincas.

Conclusiones

El monitoreo mixto ofrece la oportunidad de estudiar los agroecosistemas en forma iterativa cuando se utiliza un rango de técnicas de recolección de información. En términos de investigación en sistemas de doble propósito, el monitoreo se ha aplicado con varios niveles de éxito a nivel de las vacas, el hato y la finca en términos de parámetros bioeconómicos. Además, ha mostrado ser un vehículo efectivo para estimular la participación de los productores en programas de investigación en sistemas y ha formado la base para iniciar la validación de tecnologías y la difusión de los resultados.

Una alta proporción de la investigación en sistemas de doble propósito ha fracasado y no ha tenido el impacto esperado por falta de transferencia. Los retos metodológicos que los investigadores en este sistema deben afrontar son: (1) utilizar métodos interdisciplinarios de investigación para tener un mejor enfoque a nivel de los ecosistemas; (2) utilizar métodos interactivos de investigación en producción mediante un proceso de investigación-averiguación; y (3) obtener información acerca de los problemas y las oportunidades en los sistemas de producción para aplicar los modelos de análisis más apropiados. El monitoreo mixto tiene aspectos interesantes en cada una de estas áreas, y su uso y el análisis de la información pueden mejorar el impacto de la investigación en el sistema de doble propósito en el sector pecuario y a nivel de gobierno.

Referencias

- Anderson, S.; Santos J.; y Boden, R. 1993. A systems approach to evaluate research requirements for animal production in South-East Mexico. En: Gill, M.; Owen, E.; Pollott, G. E.; y Lawrence, T. L. (eds.). Animal production in developing countries. Occasional Publication no. 16, BSAP, Edimburgo, Reino Unido. p. 149-151.

- _____.; Santos, J.; Boden, R.; y Wadsworth, J. 1995. Characterization of cattle production systems in Yucatan, Mexico. En: Anderson, S. y Wadsworth, J. (eds.). Proc. International Workshop Dual Purpose Cattle Research. Facultad de Medicina Veterinaria y Producción Animal, Universidad Autónoma de Yucatán (FMVZ-UADY), Mérida, México, 1992.
- _____.; Boden, R.; y Santos, J. 1992. Monitoring dual purpose cattle herds for identification of production constraints. Livestock Services for Smallholders. Proc. Seminar Yogyakarta, Indonesia, Nov. 1992.
- Andrew, C. O. y Hildebrand, P. E. 1982. Planning and conducting applied agricultural research. Westview Press, Boulder, Colorado, E.U.
- Bernsten, R. H.; Fitzhugh, H. A.; y Knipscheer, H. C. 1983. Livestock in farming systems research. Proc. Third Annual Farming Systems Symposium. Kansas State University, Kansas, E.U.
- Boden, R. 1995. Methodologies for monitoring dual purpose herds for the identification of constraints to production. En: Anderson, S. y Wadsworth, J. (eds.). Proc. International Workshop Dual Purpose Cattle Research. Facultad de Medicina Veterinaria y Producción Animal, Universidad Autónoma de Yucatán (FMVZ-UADY), Mérida, México, 1992.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 1986. Metodología de investigación para la generación de alternativas mejoradas en el sistema de producción bovina de doble propósito en Comayagua, Honduras. Turrialba, Costa Rica.
- Conway, G. 1985. Agroecosystem analysis. Agric. Admin. 20:31-55.
- Cubillos, G.; Vargas, H.; Gutiérrez, M.; y Gandara, M. 1988. Mejoramiento de sistemas de producción bovina de doble propósito, Guatemala. En: Red de Investigación en Sistemas de Producción Animal en América Latina (RISPAL). Informe 1988. Octava Reunión General de RISPAL, Guatemala.
- Dillon, J. L. y Hardaker, J. B. 1980. Farm management research for small farm development. FAO, Roma.
- Drucker, A.; Magana, S.; Santos, S.; y Anderson, S. 1996. The participatory development of sustainability indicators for dual purpose cattle systems. Yucatan: London University Collaborative Project. Working Paper. Facultad de Medicina Veterinaria y Producción Animal, Universidad Autónoma de Yucatán (FMVZ-UADY), México.
- Ewell, P. T. 1988. Organisation and management of field activities in on-farm research: A review of experience in nine countries. OFCOR. Comparative paper no. 2, ISNAR, La Haya, Países Bajos.
- Hildebrand, P. (ed.). 1986. Perspectives on farming systems research and extension. Lynne Rienner, Boulder, Colorado, E.U.
- Isidor, M. E.; Hernández, M.; Mueses, M.; Richardson, J.; Mercado, J.; Taveras, M.; y Bodden, J. 1988. Proyecto de investigaciones sobre sistemas pecuarios de doble propósito en la región Este de la República Dominicana. En: Red de Investigación en Sistemas de Producción Animal en América Latina (RISPAL). Informe 1988. Octava Reunión General de RISPAL, Guatemala.
- Santos, F. J. y Anderson, S. 1995. Diagnóstico de la ganadería bovina en el Estado de Yucatán: Fase Estática. Documento de trabajo. FMVZ-UADY, México.
- Shaner, W. W.; Philipp, P. F.; y Schmehl, W. R. 1982. Farming systems research and development: Guidelines for developing countries. Westview Press, Boulder, Colorado, E.U.
- _____.; Phillip, P. F.; y Schmehl, W. R. 1986. Enterprise records: A form of multiple visit survey. En: Hildebrand, P. (ed.). Perspectives on farming systems research and extension. Lynne Rienner, Boulder, Colorado, E.U.
- Vaccaro, L.; Vaccaro, R.; Verde, O.; Mejías, H.; Ríos, L.; y Romero, E. 1995. Effects of environmental factors, breed group and their interactions on performance of Venezuelan dual purpose cows. Trop. Agric. (Trinidad) 72:1-6.

Wadsworth, J. 1988. Characteristics and performance of cattle production systems in the pacific region of Costa Rica. Report produced on completion of a technical cooperation assignment at the central american school of animal husbandry (ECAG), Atenas, Costa Rica. Overseas Development Administration, Reino Unido. 459 p.

_____. 1990. Developing efficient extension strategies: Results of an experiment involving Costa Rican livestock producers. *Agric. Sys.* 34:259-275.

_____. 1995. Methodological aspects of farm monitoring: A Costa Rican case. En: Anderson, S. y Wadsworth, P. (eds.). *Proc. IFS FMVZ-UADY Int. Workshop Dual Purpose Cattle Research*. Mérida, México, 1992.

La Investigación Participativa con Productores: Una Metodología Orientada a la Vinculación Temprana y Activa de los Destinatarios Potenciales de las Tecnologías

J. A. Ashby, T. Gracia** y L. A. Hernández****

Resumen

La metodología de investigación participativa ofrece amplias posibilidades en el campo agrícola y pecuario, como instrumento de apoyo a la investigación básica, facilitando la participación activa y el compromiso de los usuarios potenciales de la tecnología, desde etapas tempranas de la investigación, esperando de esta manera contribuir a una mayor adopción.

Sin embargo, la aplicación apropiada del método y, en consecuencia, los resultados obtenidos dependerán en gran medida del compromiso real de los proyectos o programas de capacitar a sus técnicos e investigadores en los conocimientos y destrezas necesarios para que puedan decidir correctamente cuándo y cómo utilizar la investigación participativa como herramienta de trabajo. Pero el éxito dependerá de la seriedad y el compromiso de los proyectos para abrir espacios reales (no marginales) de participación a los productores en las diferentes etapas de la investigación.

Los productores a través de sus diagnósticos, propuestas de solución y evaluación de alternativas tecnológicas contribuyen con una visión integral de sus sistemas productivos, manejando en sus procesos de toma de decisiones frente a la tecnología una multiplicidad de objetivos de producción que, a veces, escapan a la tendencia especializada del investigador.

Esta metodología participativa permite, no sólo comprender cuáles son los criterios en los cuales los destinatarios potenciales de la tecnología basan sus decisiones de aceptación o rechazo, sino además comprender por qué toman una u otra determinación. Permite, además, ajustar tempranamente los objetivos de la investigación y las características de las nuevas tecnologías, reduciendo el riesgo que el producto final sea tecnológicamente de óptima calidad, pero imposible de adoptar por sus costos, por la baja disponibilidad de los insumos requeridos o porque, definitivamente, no responde a las necesidades reales de los destinatarios potenciales.

* Ph.D., Directora de Recursos Naturales, CIAT.

** Socióloga Rural, Proyecto de Investigación Participativa con Agricultores (IPRA), CIAT.

*** M.Sc., Programa de Yuca, CIAT.

En el estudio, se ha entendido que es posible desarrollar con los productores criterios de selección de tecnologías, aún cuando no hayan estado expuestos previamente a ellas, ya que por experiencias de vecinos, información que les llega a través de los medios de comunicación, entre otros, con frecuencia posee ideotipos acerca, por ejemplo, de un buen abono verde, de un buen forraje o una buena ganadería.

Finalmente, se ha aprendido que el tiempo invertido en escuchar al productor y abrirle espacio de participación real, lo gana la investigación en una mayor claridad de objetivos, calidad en la tecnología desarrollada e incremento en las posibilidades de adopción de una tecnología que responderá mejor a las prioridades y condiciones de los productores.

Participación de los Productores en las Evaluaciones de la Investigación Agropecuaria¹

Con frecuencia, los productores no utilizan las tecnologías recientemente desarrolladas en la forma en que los científicos esperarían. Abundan experiencias sobre recomendaciones agrícolas y pecuarias ignoradas, por ejemplo, equipos que no se adoptan, nuevas variedades de cultivos rechazadas por los productores, o especies forrajeras que después de muchos años de investigación en la estación experimental no lograron mayor aceptación por parte de los productores.

Paradójicamente, otras prácticas nuevas no recomendadas por los científicos han escapado de las estaciones de investigación agropecuaria y han pasado rápidamente de productor a productor. A menudo, estas actividades, iniciadas por los productores, no han sido previstas por los profesionales involucrados en el desarrollo y transferencia de tecnología. Este fenómeno preocupa a los profesionales; muchos creen que, en los procedimientos de investigación que ellos utilizan en el desarrollo de tecnologías para los pequeños productores, hace falta un elemento: la participación activa del productor.

¿Qué tiene, entonces, de especial e importante la perspectiva del productor? Los profesionales de las distintas disciplinas científicas se capacitan para comprender un aspecto particular de un problema agropecuario. Sin embargo, los especialistas no conocen tan íntimamente como el productor los diferentes problemas y necesidades de la pequeña unidad de explotación familiar y, por tanto, nadie como él está mejor equipado para visualizar cómo poner a funcionar una tecnología en su finca para satisfacer esas necesidades. El productor es quien finalmente decide si una nueva tecnología le es o no útil.

La decisión sobre si una nueva tecnología es una alternativa aplicable para las formas habituales de producción agropecuaria no es puramente técnica; se requiere, además, de una comprensión integral de las necesidades humanas que se intentan satisfacer mediante una determinada actividad agropecuaria. El productor de escasos recursos conoce intuitivamente este proceso de toma de decisiones. El o ella saben que su aplicación implica interacciones complejas entre muchos objetivos y necesidades diferentes, como los que se ilustran en el Recuadro 1. En este punto, la metodología de investigación participativa ofrece técnicas para conseguir que el productor exprese cómo percibe la tecnología a la luz de los principios de toma de decisiones.

1. Ashby, 1992.

Recuadro 1. Ejemplos de objetivos que determinan cómo los pequeños productores evalúan las nuevas tecnologías.

- Disponer oportunamente y durante todo el año de alimentos para la familia y aumentar la producción general.
- Planear estrategias de seguridad en temporadas difíciles. Esto puede hacer que los productores piensen primero en términos de seguridad, en vez de maximizar las ganancias en la producción.
- Obtener el mayor rendimiento posible de tierra o capital escasos, aunque esto signifique trabajar con muy bajo rendimiento en relación con el tiempo invertido.
- Minimizar el tiempo necesario para una tarea determinada en una época de máxima actividad, como la correspondiente al comienzo de las lluvias y la siembra.
- Organizar el tiempo de cada miembro de la familia entre las múltiples tareas, de tal manera que se ejecute todo el trabajo requerido.
- Contribuir a la vida social de la comunidad campesina, por ejemplo, en bodas o funerales, con el fin de asegurar para la familia la aceptación y el apoyo de la comunidad.
- Compartir recursos con otros miembros de la comunidad campesina, para que ellos, a su vez, ayuden a la familia en momentos de necesidad.
- Atender los gastos a corto plazo (diarios o semanales) de la familia campesina, lo mismo que sus requerimientos de supervivencia a largo plazo.
- Satisfacer otras necesidades de los miembros de la familia no relacionados directamente con la finca, tales como la crianza y el cuidado de los niños, la atención médica y la educación.

Una evaluación eficaz con la participación del productor le permite a los investigadores establecer con datos sistemáticos las percepciones de aquel, de forma que puedan comunicar rápidamente

la información respectiva a los diseñadores de tecnología, quienes necesitan comprender el punto de vista de los productores acerca de la utilidad de nuevas tecnologías (Recuadro 1). Todas las personas involucradas economizan tiempo y dinero si las innovaciones deficientes, desde el punto de vista de los productores, regresan al 'tablero de diseño'. Por otra parte, en la evaluación algunas veces los productores rescatan alternativas que los investigadores esperan sean descartadas (Recuadro 2).

Involucrar a los productores como participantes activos en la evaluación de las innovaciones tecnológicas propuestas tiene numerosos beneficios para la generación de tecnología por programas de investigación agropecuaria. Es posible institucionalizar la evaluación regular del productor y ofrecer así una oportunidad para que investigadores y productores intercambien sus ideas acerca de innovaciones potenciales. Los investigadores pueden participar de la experiencia práctica y del conocimiento tecnológico local de los productores para establecer la utilidad de una nueva práctica, ya que esto contribuye a identificar y entender sus criterios en la selección de tecnologías.

Recuadro 2. Características de la evaluación con el productor.

- Permite el contacto directo de los productores con las opciones tecnológicas, en un marco de trabajo experimental.
- Estimula la libre expresión de las opiniones, preferencias, críticas y sugerencias acerca de las tecnologías propuestas por los investigadores.
- Requiere el uso de técnicas especiales de entrevista para obtener y registrar la información.
- Permite a los diseñadores de tecnología y usuarios potenciales conocer el grado de aceptación de las innovaciones propuestas a los productores.

Las evaluaciones con productores proporcionan al investigador la comprensión directa de sus prioridades y la forma como ellos escogen entre alternativas tecnológicas concretas, sin necesidad de una recolección pormenorizada de datos o modelos para simular el proceso de toma de decisiones.

La evaluación por los productores de un conjunto de alternativas tecnológicas contrastantes para solucionar un problema con los investigadores, puede ser el punto de partida para construir con una representación de su tecnología "ideal", o un método para comprender lo que los productores perciben como tecnología "mejorada". Finalmente, las evaluaciones con el productor son una forma de involucrar usuarios potenciales en las decisiones acerca de qué tecnología recomendar (Recuadro 3).

Recuadro 3. Conocimientos obtenidos a partir de las evaluaciones con los productores.

- Las características importantes de la tecnología para los productores.
- La clasificación de las diferentes alternativas tecnológicas, siguiendo el orden de preferencia de los productores.
- Tecnologías que prefieren los productores y aquellas que no prefieren.
- La disposición de los agricultores para adoptar una nueva tecnología.

La Evaluación Participativa de Tecnología (EPT) con Productores y la Gestión de los Comités de Investigación Agrícola Local (CIAL)

En la evaluación participativa de tecnologías con productores es preciso distinguir claramente dos tipos de procesos que determinan diferencias importantes, tanto

en el propósito de las evaluaciones como en el procedimiento y en el papel que desempeñan los técnicos e investigadores y, en general, los productores participantes. Estos procesos son, de una parte, la evaluación participativa de tecnología (EPT) y de otra, la auto-gestión en investigación participativa que se hace a través de grupos organizados de productores llamados Comités de Investigación Agrícola Local (CIAL). Las diferencias entre estos dos procesos se materializan en "el producto final"; es decir, en aquello que queda en una comunidad después de hacer en ella énfasis en uno u otro proceso. A continuación se detalla cada uno de ellos.

Evaluación participativa de tecnología (EPT)²

Objetivo. El propósito principal de este tipo de evaluación es retroinformar a la investigación a través del análisis que hacen los productores cuando opinan frente a tecnologías en prueba. Estas evaluaciones son, generalmente, conducidas por un técnico o investigador que entrevista uno o varios productores utilizando técnicas de evaluación participativa, tales como las evaluaciones abierta y absoluta, el ordenamiento de preferencias, la comparación por pares, el ordenamiento de criterios por matriz. Mediante su interacción con los productores durante las entrevistas de evaluación, el investigador busca conocer y comprender cómo y por qué los productores seleccionan tecnología de una determinada manera —criterios, razones, prioridades y procesos de toma de decisiones.

Papel del investigador en la EPT. El investigador facilita la libre expresión de las opiniones de los productores estableciendo con ellos una relación de confianza, utilizando diferentes tipos de preguntas (sondeo, abiertas, exploratorias, de verificación), diligenciando formatos diversos; y con base en la información obtenida retroinforma a los programas de investigación.

2. Gracia y Ashby, 1996.

A través de su trabajo, el investigador está finalmente buscando identificar las características deseadas para alternativas tecnológicas, desde el punto de vista de los usuarios potenciales. En mejoramiento de cultivos, por ejemplo, a este conjunto de criterios se le llama "el ideotipo"; en otros campos, es conocido bajo el nombre de "tecnología prototipo".

Ejemplo 1. Metodología utilizada en la evaluación de materiales en prelanzamiento en el Proyecto Sistemas de Ganadería de Doble Propósito en el Caquetá, Colombia³. La colonización en el Piedemonte de la cuenca Amazónica del Caquetá, Colombia, ha provocado la deforestación de 71 millones de hectáreas de este ecosistema húmedo tropical. Durante 40 años, mediante esta actividad, se ha reemplazado la vegetación nativa por gramíneas naturalizadas de baja producción, dedicadas hoy a la ganadería en sistemas de doble propósito. El Programa de Forrajes Tropicales del CIAT cuenta con especies de gramíneas y leguminosas que han mostrado un buen potencial para producción animal y mejoramiento de suelos en esa región. La evaluación de estas alternativas tecnológicas requiere de un programa piloto de integración interinstitucional, que incluya la participación de productores, investigadores pecuarios, extensionistas y comunicadores.

El objetivo de este programa piloto es contribuir al incremento del ingreso de los productores y a la intensificación de la producción de leche y carne con el uso de tecnologías apropiadas. Una de las estrategias para lograr que los productores participen en el proceso de generación y aceptación de nuevas alternativas tecnológicas consiste en capacitar profesionales en la metodología de investigación participativa, involucrando a los productores en el desarrollo tecnológico en sus ecosistemas y/o en estación experimental. Esta metodología incluye:

Entrevistas de evaluación abierta. En el Caquetá, los investigadores del Proyecto realizaron entrevistas de evaluación utilizando la técnica llamada de evaluación abierta como primer paso para captar, a través del diálogo, las opiniones, los comentarios y lo que se denomina "precriterios" de selección de tecnología por parte de los productores. Se mencionan inicialmente como precriterios, ya que sólo mediante evaluaciones posteriores es posible conocer cuáles son realmente los criterios de selección de tecnología que se encuentran en la base del proceso de toma de decisiones por parte de los productores (aceptación o rechazo), cuando evalúan tecnologías en prueba. Se escogió la técnica de evaluación abierta porque ésta permite expresar con mayor amplitud las opiniones de los productores y es la técnica más frecuentemente utilizada en la EPT.

Durante las entrevistas de evaluación se hizo un registro filmico que se utilizó posteriormente para reforzar las habilidades de los investigadores en la realización del trabajo de campo y su interacción con los productores.

Elaboración de un glosario de términos. Durante las entrevistas de evaluación, los investigadores pidieron a los productores, a través de preguntas de sondeo, aclarar términos locales que les eran desconocidos, familiarizándose con ellos e incorporándolos a su vocabulario; se anotaron términos como "empastar" (lote en descanso o listo para el pastoreo), "peladera y fiebrón" (sinónimos de fotosensibilización). De esta forma, los investigadores iniciaron un proceso de aprendizaje de la terminología local, la cual utilizaron para comparar posteriormente los diferentes significados que una misma expresión tiene en distintos lugares y tipos de agricultores. Esto es de gran utilidad en la investigación; por ejemplo, se ha observado que la frecuencia relativa de los criterios de selección cambian si se carece de un glosario que permita la adecuada interpretación de los términos locales.

Identificación de criterios. A través de la información registrada durante las evaluaciones abiertas es posible identificar

3. Hernández, 1996.

una serie de criterios preliminares de selección de tecnología que podrían ser importantes para los productores. Las frecuencias relativas de dichos criterios permitieron, en el caso del Proyecto en el Caquetá, conocer cuáles son los más importantes para los productores, según el siguiente orden de preferencia:

(1) producción de leche, (2) resistencia al salivazo, (3) capacidad de carga animal, (4) velocidad de recuperación, (5) resistencia al pisoteo y facilidad de establecimiento.

Elaboración de un libro de actividades de campo. Para sistematizar la información obtenida en las entrevistas de evaluación abierta se preparó un libro de actividades de campo, como el que aparece en el Cuadro 1. En él se colocaron los criterios preliminares identificados, con el fin de establecer en las siguientes evaluaciones la forma como percibían los productores cada tratamiento en relación con los criterios encontrados.

El libro de campo corresponde a una hoja electrónica diseñada que se diligencia a nivel de campo para su análisis. Es recomendable incluir casillas vacías para nuevos criterios. Además, tiene una columna para colocar el orden de preferencia que los productores asignan a las tecnologías en prueba, lo cual es de gran importancia para que el investigador comprenda, en este caso, la aceptación de las 10 tecnologías (mezclas de gramíneas y leguminosas) evaluadas.

Relación entre las evaluaciones realizadas por los investigadores y las realizadas por los productores. Cada uno de los tratamientos evaluados por los productores es, también, evaluado por los investigadores para poder, de esta manera, interpretar cuantitativamente cada criterio; por ejemplo, se debe conocer a cuántos litros de leche producida corresponde una calificación "buena" por parte del productor. El resto de criterios en este caso hacen referencia a la información descriptiva, necesaria en cada uno de los ensayos.

Retroinformación. Los criterios identificados durante las evaluaciones de los

productores son informados a los programas de investigación para que sean incorporados nuevamente a ellos, de tal manera que en el siguiente ciclo el ofrecimiento tecnológico se acercará más a las expectativas del productor.

Utilizando la metodología de evaluación participativa durante varios ciclos es posible conseguir una mayor difusión de productor a productor y mayores tasas de adopción.

Ejemplo 2. Evaluación participativa de materiales en época temprana (exploratoria) para desarrollar criterios de selección de tecnologías. El Programa de Forrajes Tropicales del CIAT plantó un ensayo en zona de ladera del sitio Melcho, Cauca, Colombia, con 109 materiales de leguminosas forrajeras promisorias. En 1994, con la participación de productores se inició la selección de materiales para establecer posteriormente un nuevo ensayo.

La evaluación participativa en este sitio tenía como objetivos: (1) Desarrollar, conjuntamente con grupos de productores, criterios de selección de leguminosas para abono verde y para forraje. (2) Evaluar las experiencias de los productores sobre diferentes modalidades de siembra de los materiales como abono verde y forraje, bien fuera como cultivo permanente bajo plantas de café o como siembra de relevo con cultivos temporales. (3) Obtener de los productores una calificación sobre los materiales evaluados y su potencial para experimentación, según diferentes métodos de introducción en los sistemas locales de producción.

Teniendo en cuenta que el objetivo de la evaluación participativa en época temprana es desarrollar, conjuntamente con los productores, posibles criterios de selección de tecnología —y no la selección de materiales individuales— se siguió el procedimiento siguiente:

Selección de materiales contrastantes para evaluación. A nivel de la estación experimental, los investigadores que conocían el ensayo seleccionaron

Cuadro 1. Ejemplo de una página de libro para toma de criterios sobre actividades en el campo.

Tratamientos	Producción de leche			Resistencia a salivazo			Capacidad de carga			Velocidad de recuperación			Resistencia a pisoteo			Facilidad de establecimiento			Orden de preferencia
	+	±	-	+	±	-	+	±	-	+	±	-	+	±	-	+	±	-	

Nota: Los signos +, ±, - que aparecen debajo de cada criterio sirven para indicar la aceptación buena (+), intermedia (±) y rechazo (-) de los productores para cada tratamiento, en función de cada uno de los criterios.

22 materiales contrastantes a partir de una colección de 109 leguminosas existentes en el campo. Once de estos materiales se evaluaron como abono verde y un número igual como forraje (Cuadros 2 y 3).

Los criterios de calificación para las características que aparecen en la primera columna de ambos cuadros fueron considerados de utilidad por los investigadores, tanto para los productores como para la investigación. En la segunda columna de los mismos cuadros aparece el contraste sobresaliente de cada característica, con base en el cual se escogieron los materiales.

Selección de los agricultores participantes en la evaluación. Con base en el conocimiento de la actividad agropecuaria de los productores de comunidades vecinas al lugar del ensayo, se identificaron 10 productores con inclinación a la explotación ganadera y un número igual con inclinación a la agricultura e interesados en el uso de abonos verdes, quienes evaluaron, según su interés, los materiales seleccionados.

Técnica de evaluación. Se escogió la técnica de evaluación abierta, la cual no se aplicó en forma individual como en el Ejemplo 1, sino mediante entrevista grupal. Esto, para facilitar el intercambio de ideas

entre los productores frente a materiales que se sabía de antemano podrían no ser de amplio conocimiento para algunos de ellos. Todos los productores estaban interesados en el uso de leguminosas forrajeras, aunque algunos de ellos no tenían mayor experiencia con abonos verdes ni con leguminosas para forraje. Las entrevistas de evaluación se planificaron y realizaron utilizando la técnica de flujograma, que permite visualizar todos los pasos seguidos en cada una de las tres grandes partes de las evaluaciones: el inicio, el desarrollo y el cierre (Figura 1). Los números 1 a 4 que aparecen dentro del flujograma corresponden a pasos clave de la recolección de información durante las entrevistas, para lo cual se adaptaron o diseñaron los formatos que aparecen más adelante en este documento.

Participación de los investigadores durante la evaluación. Como queda claro, en la investigación participativa son los productores quienes evalúan. Para facilitar una participación amplia de todos ellos durante la evaluación grupal, los investigadores presentes les proporcionaban información —no sus opiniones— sobre los materiales, únicamente cuándo y en relación con los temas solicitados. De esta manera, los investigadores contribuían a ampliar el conocimiento de los productores para poder, asimismo, opinar y tomar decisiones concertadas.

Cuadro 2. Características para la evaluación, con la participación de agricultores, de leguminosas contrastantes utilizadas como forraje. Melcho, Cauca, Colombia.

Característica		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Vigor (V)	1 Muchas hojas	✓	✓		✓	✓			✓		✓	✓
	0 Pocas hojas			3			3	3		3		
Arquitectura (A)	1 Rastrera	✓	✓			✓	✓		✓		✓	✓
	0 Arbusto			3	3			3		3		
Cubrimiento (C)	1 Rápido	✓			✓				✓		✓	✓
	0 Lento		3	3		3	3	3		3		
Enfermedades y/o plagas (e/p)	1 Resistente	✓	✓		✓	✓		✓			✓	✓
	0 Baja			✓			✓		✓	✓		

Nombre	Repetición	Tipo
1. <i>Mucuna</i> CIAT 9349	2	1. V ₁ A ₁ C ₁ E/P ₁
2. <i>Arachis pintoi</i> CIAT 17434	3	2. V ₁ A ₁ C ₀ E/P ₁
3. <i>Desmodium</i> CIAT 13848	1	3. V ₀ A ₀ C ₀ E/P ₀
4. <i>Cajanus</i> CIAT 913	3	4. V ₁ A ₀ C ₁ E/P ₁
5. <i>Desmodium</i> CIAT 13089	1	5. V ₁ A ₁ C ₀ E/P ₁
6. <i>Macrotyloma</i> CIAT 823	3	6. V ₀ A ₁ C ₀ E/P ₀
7. <i>Clitoria faichildiana</i> CIAT 18724	1	7. V ₀ A ₀ C ₀ E/P ₁
8. <i>Vigna</i> CIAT 4222	3	8. V ₁ A ₁ C ₁ E/P ₀
9. <i>Sesbania</i> CIAT 21253	1	9. V ₀ A ₀ C ₀ E/P ₀
10. <i>Centrosema macrocarpum</i> CIAT 5713	2	10. V ₁ A ₁ C ₁ E/P ₁
11. <i>Clitoria ternatea</i> CIAT 20692	3	11. V ₁ A ₁ C ₁ E/P ₁

Cuadro 3. Características para la evaluación, con la participación de agricultores, de leguminosas contrastantes utilizadas como abono verde. Melcho, Cauca, Colombia.

Característica		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Vigor (V)	1 Muchas hojas	✓		✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓
	0 Pocas hojas		✓						✓	✓		
Arquitectura (A)	1 Rastrera	✓			✓	✓		✓			✓	✓
	0 Arbusto		✓	✓			✓		✓	✓		
Cubrimiento (C)	1 Rápido	✓		✓			✓	✓			✓	✓
	0 Lento		✓		✓	✓			✓	✓		
Epoca de floración (F)	1 Temprana	✓	✓				✓	✓	✓		✓	✓
	0 Tardía			✓	✓	✓				✓		
Hojarasca (H)	1 Mucha	✓		✓	✓						✓	✓
	0 Poca		✓			✓	✓	✓	✓	✓		

Nombre	Repetición	Tipo
1. <i>Mucuna</i> CIAT 9249	2	1. V ₁ A ₁ C ₁ F ₁ H ₁
2. <i>Crotalaria</i> CIAT 21709	3	2. V ₀ A ₀ C ₀ F ₁ H ₀
3. <i>Cajanus</i> CIAT 17522	2	3. V ₁ A ₀ C ₁ F ₀ H ₁
4. <i>Desmodium</i> CIAT 13089	1	4. V ₁ A ₁ C ₀ F ₀ H ₁
5. <i>Vigna</i> CIAT 4722	3	5. V ₁ A ₁ C ₀ F ₀ H ₀
6. <i>Canavalia</i> CIAT 7753	3	6. V ₁ A ₀ C ₁ F ₁ H ₀
7. <i>Arachis pintoi</i> CIAT 17434	2	7. V ₁ A ₁ C ₁ F ₁ H ₀
8. <i>Dolichos</i> CIAT 21695	1	8. V ₀ A ₀ C ₀ F ₁ H ₀
9. <i>Erythrina fusca</i> CIAT 21601	1	9. V ₀ A ₀ C ₀ F ₀ H ₀
10. <i>Chamaecrista rotundifolia</i> CIAT 8990	3	10. V ₁ A ₁ C ₁ F ₁ H ₁
11. <i>Centrosema macrocarpum</i> CIAT 5744	1	11. V ₁ A ₁ C ₁ F ₁ H ₁

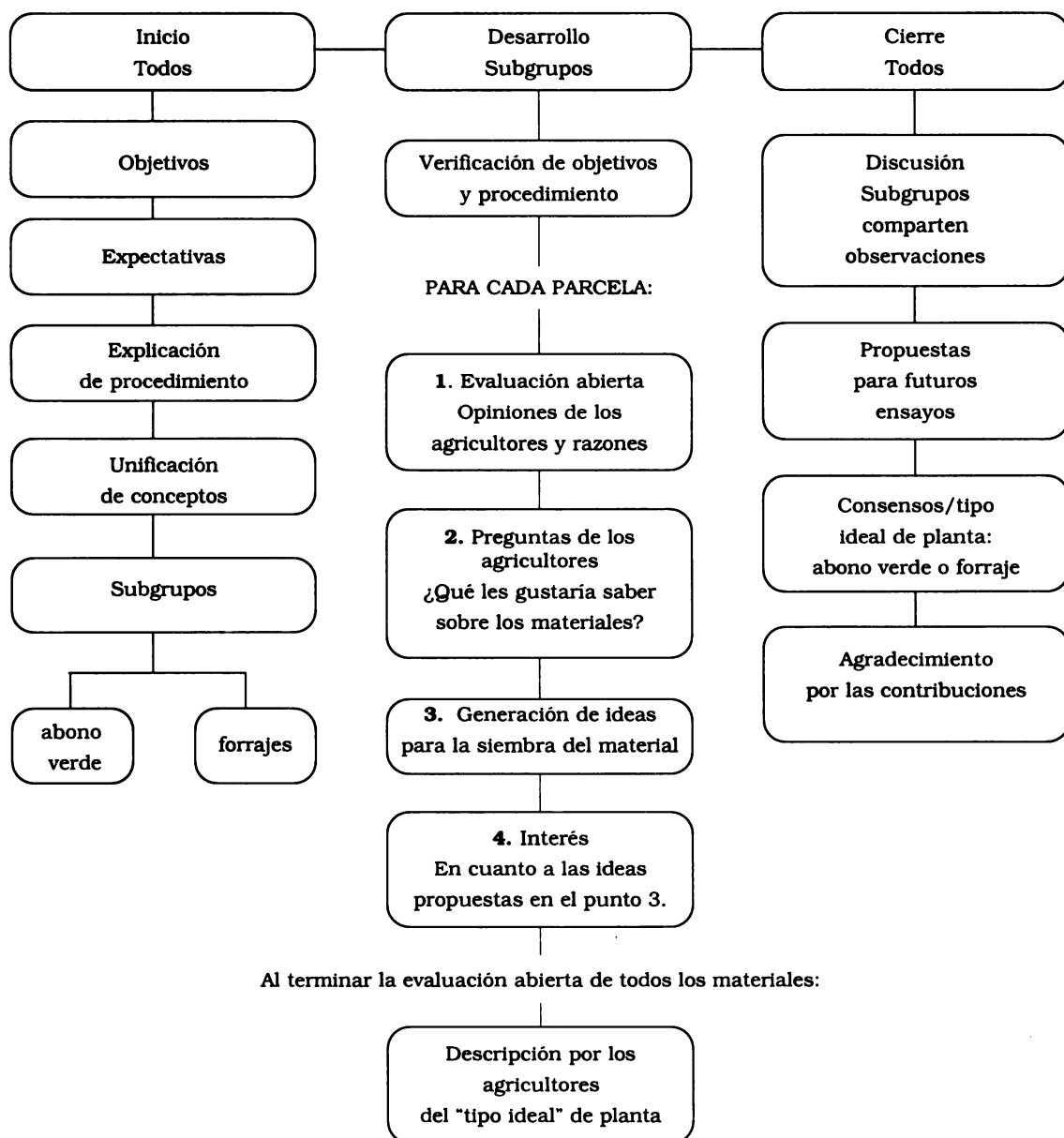


Figura 1. *Flujograma para la evaluación de leguminosas en Melcho, Cauca, Colombia.*

Cada grupo de evaluación estaba compuesto por 10 productores, como se mencionó previamente, y, por dos investigadores. Uno de éstos conocía bien la técnica de evaluación abierta grupal y lideraba el proceso, estimulando la participación de todos los productores mediante preguntas exploratorias, de

sondeo y de verificación; buscando, hasta donde fue posible, consenso entre ellos y haciendo los registros de la información en los formatos de evaluación diseñados para cumplir con los objetivos. El otro investigador presente, igualmente conocedor del ensayo, fue el facilitador de la información solicitada por los productores,

Listado de preguntas de los agricultores, según su interés sobre los materiales evaluados para forraje. Melcho, Cauca, Colombia

Tema	Frecuencia	Tema	Frecuencia
Corte		Propagación	
- ¿Rebrota al cortar?	2	- ¿Es fácil la germinación de la semilla?	1
- ¿Cuántos cortes se pueden hacer?	1	- ¿A qué distancia se siembra para manejarlo bajo corte?	1
- ¿Puede suministrarse al ganado inmediatamente después del corte (consumo inmediato)?	4	- ¿Produce semilla?	1
- Cortándolo a 10 cm, ¿se recupera fácilmente?	1	- ¿Cuántas semillas deben sembrarse por sitio?	—
- ¿Se debe dejar a libre crecimiento o hay que hacerle podas?	1	- ¿Disponibilidad de la semilla?	2
Consumo		- ¿Se puede propagar por estolones o estaca?	2
- ¿Qué efecto produce en el ganado la peluza de la Mucuna?	1	- ¿Se puede pregerminar la semilla antes de sembrarla?	1
- ¿El fruto de la Mucuna sirve para consumo humano?	1	Resistencia	
- ¿Los equinos lo consumen?	1	- ¿Resisten a suelos pobres?	1
- ¿El ganado lo come en cualquier estado (seco, verde, maduro)?	2	- ¿Resisten a pisoteo?	1
- ¿Cuánta proteína tiene?	4	- ¿Qué tan susceptibles son a las enfermedades?	1
Manejo:		- ¿Se adaptan a suelos húmedos?	1
Pastoreo		- ¿Resisten la chiza? (<i>Philoфага</i> sp.)	1
- ¿Cuándo se haría el pastoreo de Mucuna?	1	- ¿Resisten ataque de hormiga?	1
- ¿Se puede utilizar bajo pastoreo?	3	- ¿Resisten al verano?	1
Asociación		Densidad	
- ¿Qué le ocurre al pasto si la leguminosa lo envuelve? (capacidad de asociación)	2	- ¿Es denso el follaje?	1
- ¿Puede asociarse con cualquier clase de gramínea?	2	Arquitectura	
- ¿Se asocia con braquiaria?	1	- ¿Altura (semi-arbustivo/rastrero)?	3
Fertilización		- ¿Qué origen tienen los materiales?	2
- ¿Necesita de fertilización?	1	Precocidad	
- ¿La descomposición de hojas es rápida?	1	- ¿Comienza a producir forraje rápido?	1
- ¿En qué tipo de suelos se adapta mejor: descanso/arado?	1	Versatilidad	
		- ¿Para qué sirven las plantas? (usos)	2
		Rendimiento	
		- ¿Cuál es el rendimiento por hectárea?	2

**Listado de preguntas de los agricultores,
según su interés sobre los materiales
evaluados para abono verde.
Melcho, Cauca, Colombia**

Tema	Frecuencia
Corte	
- ¿Qué capacidad tienen de rebrote?	1
- ¿Se pueden cortar a ras del suelo?	1
Consumo	
- ¿Las consume el ganado?	1
Manejo:	
Propagación	
- ¿Se reproducen por semilla o por estaca?	3
- ¿Se pueden establecer por siembra a voleo?	1
- ¿Qué riesgo existe de rebrote del abono verde al dejarlo en medio del cultivo después de expuesto al sol?	1
Asociación	
- ¿Compite por nutrientes con otros cultivos?	1
Fertilización	
- ¿Se pueden abonar con lombricomposto? ¿Con qué frecuencia?	1
- ¿Se puede usar cal agrícola para acelerar la descomposición?	1
- ¿Se adaptan a suelos infértiles?	2
- ¿Cómo se usa el abono verde?	1
- ¿Se requiere fertilización frecuente?	1
- ¿La planta produce nódulos abundantes?	1
Control	
- ¿Es fácil erradicar estas leguminosas cuando sea necesario?	1
Resistencia	
- ¿Se adaptan bajo sombrero?	2

sin dar a conocer, en ningún momento, su opinión personal sobre los materiales. Así, por ejemplo, cuando los productores preguntaban: ¿En cuánto tiempo se establece la leguminosa? El investigador respondía el tiempo de establecimiento, sin opinar sobre su comportamiento.

Resultados

En las páginas siguientes se presentan algunos ejemplos de los resultados de la evaluación de los trabajos en Melcho, a partir de los cuales se desarrollaron criterios de evaluación de leguminosas por parte de los productores.

En los Cuadros 4 y 5, bajo el nombre criterios de interés para los agricultores, aparece la información obtenida de los comentarios espontáneos de los productores con el significado exacto que asignaron a cada una de las características de interés. Por ejemplo, cuando los productores se referían a la duración en el campo, lo hacían a un tipo de leguminosa que no necesitaba ser plantada frecuentemente y que, además, resistía el pisoteo y la sequía.

En las preguntas formuladas por los productores fue posible ratificar el interés por ciertas características de las forrajeras y descubrir otras que, por alguna razón, no aparecieron en sus comentarios espontáneos iniciales.

Las respuestas de los productores a las preguntas sobre cómo percibían las plantas ideales, tanto para abono verde como para forraje, permitieron comprender que, aunque ellos no tengan conocimiento sobre una tecnología, sí pueden tener ideas próximas a lo que podría llamarse un ideotipo o tipo ideal de esa tecnología; igualmente, que tienen ideas que tal vez escapan a los investigadores acerca de cómo introducir y evaluar tecnologías en sistemas productivos.

Cuadro 4. Resultados de la evaluación participativa en un vivero de leguminosas para forraje, con la participación de 11 agricultores. Evaluación de 11 materiales que aparecen en el Cuadro 2. Melcho, Cauca, Colombia.

Criterios de interés para los agricultores	Frecuencia ^a	Orden de criterios, según frecuencia
Resistencia a plagas (comedores de follaje y hormigas) y enfermedades (libres de hongos y que no necesitan fumigación)	10	1
Vigor ^b	8	5
Textura de la hoja (superficie suave, delgada)	8	6
Cantidad de forraje (abundancia de hojas)	7	7
Cobertura: buena	5	9
Anclaje: raíces profundas para que el animal no arranque la planta. Resistente a la sequía	10	2
Hojarasca: buen follaje que sirve como abono orgánico	2	4
Alta retención de agua	6	8
Resistencia al pisoteo: que sea persistente. Tallo blando	9	4
Palatabilidad: posibilidad de consumo de hojas, tallos y vainas por bovinos, equinos y aves. Posibilidad para consumo humano	10	3
Rebrote: rápido	3	10
Sombrio en potrero (arbustivas)	1	13
Precocidad: germinación (2 semanas), floración (en el semestre de siembra)	2	11
Cantidad de flores: abundantes para buena producción de semilla	1	14
Tamaño de hoja: mediano a grande	1	15
Utilidad como tutor (maderable)	2	12
Color de la hoja: verde intenso	1	16
Cantidad de tallos volubles: abundantes (bejucos)	1	17

- a. La frecuencia hace referencia a las veces que un mismo criterio fue mencionado para los diferentes materiales.
b. Criterios seleccionados previamente por los investigadores.

Ideas preliminares de los productores acerca de cómo sería la planta forrajera ideal

Maní Forrajero. Se conoce su desempeño, cubre muy bien el suelo, tiene buena floración y palatabilidad. Resiste el pastoreo y es útil en parcelas para la recuperación de animales enfermos.

Centrosema. Sirve para pastoreo en asociación con *Brachiaria* o para corte.

Guandul. La semilla sirve para el consumo de la familia.

Arboles: Útiles para cercas, forraje y sombra. Deben proteger el suelo y producir semilla.

Ideas preliminares de los productores sobre la planta ideal para abono verde

- Debe tolerar el pisoteo animal

Cuadro 5. Resultados de la evaluación participativa en un vivero de leguminosas para abono verde, con la participación de 10 agricultores. Evaluación de 11 materiales que aparecen en el Cuadro 2. Melcho, Cauca, Colombia.

Criterios de interés para los agricultores	Frecuencia ^a	Orden de criterios, según frecuencia
Cantidad de forraje (abundantes hojas)	11	3
Cobertura: buena sobre la parcela	9	5
Rebrote: rápido	8	6
Duración en el campo: que no sea necesario resembrarlo. Resista el pisoteo y la sequía	11	4
Calidad como abono: descomposición rápida, forraje abundante, sin invadir el cultivo asociado. Alta producción de nódulos.	19	1
Bajo requerimiento de mano de obra, los tallos son tiernos; el abono verde no rebrota en el campo; tiene capacidad para asociarse con cultivos transitorios.	15	2
Arquitectura ^b	5	7
Textura de hoja: gruesa, con alto contenido de agua; suave	3	9
Tamaño de hoja: grande	2	13
Capacidad de adaptación a suelos infértiles	3	10
Palatabilidad: aptas para el consumo animal y humano (<i>Cajanus cajan</i>)	4	8
Vigor: medio, cuando se siembre con cultivos asociados	3	12
Anclaje: raíces poco profundas para facilitar la erradicación	3	11

a. La frecuencia hace referencia a las veces que un mismo criterio fue mencionado para los diferentes materiales.

b. Criterios seleccionados previamente por los investigadores.

- Que dé varios cortes
- Que tenga buen follaje
- De porte bajo
- De hojas tiernas
- Rápido crecimiento
- De tallo grueso y jugoso
- Que no sea invasora
- Que se descomponga rápidamente
- Que no compita con otros cultivos
- Que se adapte a suelos pobres
- Que no tenga raíz profunda
- Densa. Es decir, que cubra bien impidiendo así el desarrollo de malezas

- Si puede generar un ingreso adicional, sería mejor
- Que tenga la alternativa de servir como forraje
- Que se propague rápidamente por semilla y sea persistente.
- Que sea fácil de erradicar.

Ideas de los productores sobre el manejo de los materiales evaluados

- Seleccionar los mejores y seguir multiplicándolos con los agricultores, con apoyo técnico e intercambio de experiencias entre productores
- Realizar más investigación participativa

- Impulsar el cultivo de guandul por su alto contenido de proteína.

Qué sugieren los productores para los futuros ensayos

- Sembrarlos en medio de cultivos de frijol o yuca, y cortarlos e incorporarlos antes de la floración.
- En el cultivo de plátano, se deben cortar e dejarlos sobre el suelo como abono verde.
- En zonas erosionadas se deben sembrar en barreras distanciadas 2 m, dependiendo de la topografía y, posteriormente, sembrar árboles perennes.
- Maní Forrajero asociado con cultivo de mora.
- Maní Forrajero y canavalia en cultivo de caña para corte antes de la floración y uso como abono verde en las calles del cultivo.
- Ensayar leguminosas en lotes en descanso para protegerlos de la erosión e

incorporarlas al momento de la preparación.

- Par la recuperación del suelo como cultivo permanente en cortes en secuencia.
- Siembra de Mucuna en lotes de guandul para evitar otras malezas y favorecer la retención de agua.
- Establecer Mucuna en medio del bosque natural para conservar la humedad y como abono verde para la regeneración del bosque.

Formatos Utilizados en las Evaluaciones de los Trabajos con Agricultores en Melcho, Cauca, Colombia

A continuación se presentan los modelos de formatos utilizados para evaluar los trabajos realizados con la participación de los agricultores en la vereda Melcho, Cauca, Colombia.

1. Evaluación de leguminosas: Evaluación abierta

Formato de registro

Uso: Abono verde _____

Forraje _____

Material: _____

Nombre local: _____

Grupo de productores: _____

Lugar: _____

Fecha: _____

Entrevistador: _____

1. Comentarios espontáneos de los agricultores

2. Evaluación de leguminosas: Evaluación abierta

Formato de registro

Uso: Abono verde _____

Forraje _____

Material: _____

Nombre local: _____

Grupo de productores: _____

Lugar: _____

Fecha: _____

Entrevistador: _____

A. Código para comentarios espontáneos

Criterio	Aspectos positivos (+)	Aspectos negativos (-)
01 Vigor		
02 Arquitectura de la planta		
03 Cubrimiento del suelo		
04 Epoca de floración		
05 Hojarasca		
06 Enfermedades y/o plagas		
07		
08		

B. Preguntas de los agricultores

3. Evaluación de leguminosas: Evaluación abierta

Formato de registro

Uso: Abono verde _____ Forraje _____

Material: _____ Nombre local: _____

Grupo de productores: _____ Lugar: _____

Fecha: _____ Entrevistador: _____

Propuestas para la siembra del material	Interés por ensayar		
	Mucho (3)	Regular (2)	Poco (1)

Descripción del tipo ideal de planta, según los agricultores

La Investigación Participativa como Infraestructura Local de Investigación: Los Comités de Investigación Agrícola Local (CIAL)⁴

Un programa o entidad puede aplicar la metodología de investigación participativa asumiendo directamente la organización de actividades de evaluación participativa de tecnologías (EPT) y además impulsando con productores actividades de diagnóstico, planeación y diseño participativo. Lo anterior con el propósito principal de alimentar la investigación a través del conocimiento y comprensión de las prioridades y criterios de selección de tecnología por parte de los destinatarios potenciales.

Un programa o una entidad puede estar interesado, no solamente en liderar actividades de investigación participativa dentro de su ambiente de trabajo, sino además en gestar a nivel de las comunidades participantes una capacidad local de investigación, organizando grupos de productores llamados Comités de Investigación Agrícola Local (CIAL), que asuman la gestión en investigación adaptativa.

El CIAL es un grupo formado por cuatro productores, elegidos por su propia comunidad para ensayar nuevas tecnologías agrícolas o pecuarias. El comité identifica prioridades de la comunidad y necesidades de investigación sobre temas tales como variedades, fertilizantes, alimento para animales, o conservación de suelos y, posteriormente, decide cuál de todos ensayar. Cada comité maneja un pequeño fondo para financiar sus experimentos, los cuales han sido planeados, ejecutados y evaluados para determinar si una determinada innovación es o no recomendable para la localidad. Los

resultados obtenidos por un comité se comparten con la comunidad y con otros interesados. Los comités capacitan a los productores locales y pueden, por ejemplo, multiplicar semillas u obtener los insumos necesarios para asegurar una rápida adopción y difusión de los beneficios de las nuevas tecnologías.

La metodología CIAL ha sido diseñada para formar una capacidad local sostenible con base en la comunidad y para adoptar innovaciones agrícolas o pecuarias utilizando métodos que promueven la activa participación de los productores en la investigación. Debido a que las instituciones de investigación del sector público de los países en desarrollo no pueden atender las necesidades de los productores de escasos recursos que están ubicados en ecosistemas diferentes, la metodología moviliza el liderazgo local para integrar el conocimiento técnico nativo y la tecnología moderna. Como resultado, se pueden identificar, a un costo muy bajo, prácticas útiles y adecuadas a nivel local y en el ambiente del agricultor.

La Metodología CIAL

Las actividades de un CIAL están fundamentadas en los cinco pasos de la investigación participativa: Diagnóstico, Planeación, Diseño del experimento, Evaluación del mismo y Comunicación de los resultados a la comunidad.

El diagnóstico participativo

Es realizado por un comité con su comunidad rural, la asociación de productores o la cooperativa que lo haya elegido. En la reunión de diagnóstico, los productores locales exponen sus dudas y hacen preguntas sobre los temas que desean resolver. Esta metodología permite que las ideas y sugerencias sean priorizadas en términos de importancia para la comunidad, duración del experimento o la existencia de información sobre el tema, entre otros. De esta manera, la comunidad define cuál es la prioridad de trabajo.

4. IPRA, 1992.

La planeación participativa

Es el paso siguiente del comité e incluye el conocimiento de los productores locales, quienes son expertos en el tema escogido por la comunidad. Si la comunidad ha seleccionado un tema que es nuevo, el comité busca información con la ayuda de agencias oficiales locales y con ONGs, o mediante visitas a otras comunidades.

La iniciación del experimento

Una vez que se reúne la información necesaria, el comité trabaja con el agrónomo, el veterinario o zootecnista del CIAL, o con los técnicos extensionistas para diseñar un ensayo sencillo y comparar lo que decidieron investigar con la práctica local (testigo local). Muchas comunidades inician su investigación con la selección de variedades y posteriormente hacen pruebas con fertilizantes, métodos de cultivos múltiples, distancias de siembra, manejo integrado de plagas y enfermedades, sistemas de cultivos; o incorporando gradualmente otros componentes, como el pecuario, en el sistema.

La evaluación participativa

Incluye el comité y los productores locales, quienes definen los criterios para la selección de tratamientos, por ejemplo: una variedad de maíz, controlar malezas o introducir nuevas especies forrajeras para alimento animal. El grupo evalúa cada tratamiento y lleva un registro sencillo.

La comunicación de resultados

En una reunión con la comunidad, el comité estudia la relación causa-efecto del ensayo y, si lo desea, lo pueda comunicar a otros productores. Este es el momento para intercambiar nuevas inquietudes, ideas e información y, de esta manera, el grupo puede decidir qué hacer dentro de la investigación adaptativa.

Resultados

A partir del tercer ensayo, algunos CIAL, contando con aprobación estatal, han

comenzado a desarrollar pequeñas empresas de multiplicación y venta de semillas de las variedades mejoradas que han seleccionado. Algunos comités concentran sus esfuerzos en mejorar el suministro local de alimentos y la reducción de compras externas; otros están ensayando cultivos destinados al uso industrial y para mercados de exportación ya establecidos.

La formación de un CIAL requiere un pequeño fondo —en Colombia es, aproximadamente, de US\$500— y la participación de un extensionista o productor que pueda desempeñarse como capacitador.

Multiplicación de la capacidad para la investigación participativa

El programa CIAL en el CIAT cuenta con un equipo permanente de profesionales que capacita investigadores y técnicos interesados en esta metodología quienes, a su vez, capacitan a los productores.

La capacitación del comité casi siempre incluye dos visitas mensuales del capacitador, hasta cuando aquel comparte con la comunidad los resultados de su primer ensayo. A partir de ese momento, los capacitadores visitan a los productores con menos frecuencia para que, gradualmente, el comité asuma mayor responsabilidad en la planeación, evaluación e informe sobre resultados. Durante este periodo de capacitación se busca crear un fuerte vínculo entre el comité y las agencias de extensión e investigación, de tal manera que el personal de las entidades pueda estar disponible, al menos en dos ocasiones importantes: la reunión de planeación del experimento y la de interpretación de resultados.

El Programa ha encontrado que los productores que han tenido experiencia en los CIAL pueden capacitar nuevos miembros e iniciar nuevos comités. No obstante, es necesario que haya retroinformación de un capacitador profesional en las reuniones de

planeación e interpretación de resultados. La capacitación de productor a productor implica que los miembros de un comité pueden capacitar sus propios reemplazos, asegurando, de esta manera, la continuidad de la capacidad para investigar.

El aprender cómo llevar registros es un aspecto importante de esta capacitación. Esto le permite al comité llevar un registro de sus actividades e intercambiar sus resultados con otras comunidades.

Entre los beneficios de la creación de CIAL se pueden mencionar:

1. Los CIAL abren las puertas para un flujo rápido de tecnologías agropecuarias e información hacia productores de escasos recursos, lo que no se podría lograr con métodos convencionales de investigación.
2. Los comités ensayan nuevas tecnologías dentro de las condiciones agroclimáticas locales, usando prácticas de manejo locales y evaluándolas de acuerdo con el criterio de los productores, lo cual provee un servicio único de ensayos adaptativos en fincas.
3. Los centros de investigación oficial reciben retroalimentación rápida y a tiempo por medio de los comités sobre la aceptación de los nuevos ensayos por parte de los productores. Esto ayuda a la investigación en el diseño de tecnologías más apropiadas.
4. Mediante sus comités, los productores de escasos recursos pueden formular sus demandas de tecnologías nuevas, en lugar de recibir solamente paquetes tecnológicos. Los comités, entonces, actúan como portavoces con respaldo oficial.
5. Los comités suministran a las agencias de crédito los datos actualizados sobre costos de producción en su región, mediante su capacitación en asuntos

contables, lo que les permite obtener mejores términos para créditos en sus comunidades.

6. El comité también contribuye a movilizar el liderazgo de la comunidad rural para participar activamente en innovaciones agrícolas y pecuarias. Algunos comités financian los costos en tiempo que algunos miembros dedican a la experimentación, mediante actividades iniciadas por ellos para consecución de fondos.
7. Los productores aprenden técnicas importantes sobre administración de empresas, las cuales les ayudan a convertir su explotación en pequeñas empresas agroindustriales o pecuarias.
8. Los CIAL son núcleos de acción para la conservación de recursos naturales en la comunidad. Muchos de los actuales comités están iniciando y promoviendo acciones de conservación de suelos y reforestación.

Diagnóstico Participativo con Productores

Los productores, a través de los diagnósticos participativos, identifican sus prioridades, analizan sus problemas, relacionan causas y efectos, seleccionan temas de interés para investigar, pero ante todo, permiten a la investigación comprender de qué manera ellos perciben los diferentes componentes de su sistema productivo; visión que podría ser significativamente diferente de aquella de los investigadores. En el siguiente ejemplo se presentan algunos aspectos metodológicos de un diagnóstico realizado con productores en las Filipinas, en el marco de una actividad de capacitación en investigación participativa desarrollada por el Proyecto IPRA con técnicos e investigadores del Proyecto de Forrajes para Pequeños Productores que desarrolla el CIAT en 10 países del sureste de Asia.

Diagnóstico participativo sobre sistemas de producción ganadera en la comunidad de San Salvador, Filipinas

Objetivos. El diagnóstico se realizó en julio de 1995, con el objetivo principal de identificar el mayor número de factores que los productores percibían como riesgos para su ganado; específicamente se buscaba:

- (1) Comprender mejor los sistemas de producción ganadera en San Salvador.
- (2) Identificar los problemas que los productores consideraban prioritarios y comprender cómo estos se interrelacionaban con otros factores del sistema agrícola.
- (3) Identificar las prioridades de los productores para investigaciones futuras.

Metodología. El diagnóstico participativo se realizó con la ayuda de un grupo de 25 productores, con el propósito de identificar las limitaciones y posibilidades que percibían en sus sistemas de producción de ganado y para priorizar sus problemas e identificar temas de interés para futuras investigaciones.

- **Sesión de introducción.** Definieron los objetivos y expectativas tanto de productores como de investigadores.
- **Visitas de campo.** Agricultores e investigadores conjuntamente visitaron dos fincas representativas de la comunidad, seleccionadas por los productores para dar a los investigadores un conocimiento sobre la zona.
- **Mapa sobre uso del suelo.** Investigadores pidieron a los productores que representaran con símbolos los aspectos importantes de su comunidad. Mediante el uso de papel, lápices, tiza y papel de colores, cada uno de ellos dibujó las vías, los edificios principales, las casas, los sistemas principales de uso de la tierra, las montañas y los ríos.
- **Calendario estacional agropecuario.** Productores, con el apoyo del mapa de uso del suelo elaborado por ellos, hicieron un calendario correspondiente a

1 año, identificando las actividades relacionadas con cosechas, producción ganadera, demanda de trabajo y disponibilidad de alimento para los animales.

- **Discusión general sobre prácticas ganaderas.** Con el uso de los mapas y calendarios agropecuarios elaborados por productores, se analizaron los sistemas agropecuarios e identificaron sus problemas principales, los cuales representaron en cartulina de colores y priorizaron las interrelaciones entre ellos.
- **Soluciones locales.** Los productores analizaron las soluciones que consideraron más importantes, balanceando los aspectos positivos y negativos de los resultados obtenidos y las experiencias que habían aprendido. Mencionando, además, lo que no habían conseguido resolver satisfactoriamente.
- **Identificación de prioridades de investigación.** Con base en los análisis de los pasos anteriores, los productores identificaron sus prioridades de investigación.

Características generales de la comunidad San Salvador, Filipinas

La topografía de la región es, en su mayoría, ondulada y montañosa con pendiente suave, formando una barrera natural. El promedio de la precipitación anual es de 2000 mm. La época de lluvias comienza en mayo y termina en enero del año siguiente.

El suelo es arcilloso, ácido, con pH entre 4.2 y 5.9. La vegetación natural es escasa y ha sido talada para agricultura de subsistencia y para el cultivo de coco y bambú. En las zonas altas se cultiva arroz y papa dulce, mientras que en las bajas se cultiva arroz. Los pastos nativos *Axonopus compressus*, *Paspalum conjugatum* e *Hyrsopegon* sp. crecen en terrenos en descanso. Cerca de las casas se cultiva banano, leucaena, santol, cítricos y

guayaba. Se cultivan, además, pasto vetiver, napier, gliricidia, leucaena gigante, gmelina y mahogany para controlar la erosión, alimentar animales y para madera.

El promedio de miembros por familia varía entre 4 y 7 y el tamaño de las fincas varía entre 0.5 y 5 ha; el 65% de los agricultores poseen menos de 1 ha, y la mayoría terminaron o llegaron a la educación primaria. Practican la agricultura de subsistencia, en su mayor parte cultivan arroz de zonas altas con lo cual obtienen pequeñas ganancias. La mayoría de agricultores tienen gallinas y cerdos, de los cuales derivan ingresos secundarios para el hogar.

El sistema de tenencia de tierra es compartida; algunos agricultores son propietarios y, al mismo tiempo, comparten tierras comunitarias. Usan sistemas de rotación anual de cultivos, por ejemplo: arroz y papa dulce, maíz con maní. En las tierras bajas irrigadas se producen dos

cosechas de arroz, dependiendo la segunda de la lluvia.

Los agricultores tienen, por lo general, cerdos, búfalos, vacunos y cabras. El búfalo provee fuerza de trabajo, mientras que los vacunos son un ahorro para uso en el futuro. Las gallinas y cerdos proveen dinero efectivo y para consumo.

En el Cuadro 6 se observa el calendario estacional de cultivos, los cuales dependen de la variación de lluvias en cada estación. Por lo general, hay dos épocas de cultivos para arroz de riego, sin importar la disponibilidad de agua. Los agricultores de San Salvador (Filipinas) casi nunca siembran una tercera cosecha de arroz, debido a que el agua es escasa durante los meses secos (febrero a mayo).

La disponibilidad de forraje para animales es estacional entre junio y enero del año siguiente. En la época de lluvias, la fuente principal de alimento son los pastos

Cuadro 6. Calendario de actividades estacionales en San Salvador, Matalom, Leyte, Filipinas.

Cultivo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Arroz de riego*					\\	&	&	\$	\\	&	&	\$
	&	&	\$									\\
Arroz en época de lluvia					\\	\$	&	&	\$			
Arroz en tierra alta (ATa)	\\	\\	\\	\\	\\	&	&	&	&		\$	
Papa dulce (con ATa)							&	&	&	&	\$	
Maíz (con ATa)							&	&	&	&	\$	
Papa dulce (sola)	&	&	\$				\\	\\	\\	\\	&	&
Maní	\\	\\	\\	&	&	&	\$					
			\\	\\	\\	\\	\\	&	&	&	\$	
					\\	\\	\\	&	&	&	\$	
Disponibilidad de pastos para búfalos y vacunos	\\					\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\
Pastos nativos	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\
Tallos de banano		\\	\\	\\								
Hojas de jackfruit		\\	\\	\\								

(Continúa)

Cuadro 6. (Continuación).

Cultivo	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Hojas de bambú		\\	\\	\\								
Tallos de papa dulce		\\	\\	\\								
Tuzas de maíz										\\		
Espigas de arroz			\\					\\		\\		\\
Forraje de mani							\\					
<i>Samanea/Gliricidia</i>	No tiene mucho uso; pero se utiliza durante todo el año.											
<i>Leucaena</i>		\\	\\	\\								
Napier (si hay)	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\
Fuerza animal	\\	\\	\\	\\	\\	\\	\\					
	\\	\\	\\	\\	\\	\\						
					\\	\\	\\				\\	
								\\	\\	\\		
Trabajo contratado						\\	\\	\\				
Demanda de trabajo 3 días/semana						\\	\\					

* Se siembra un tercer cultivo cuando hay lluvia suficiente.

\\ Preparación del suelo.

& Crecimiento.

\$ Cosecha.

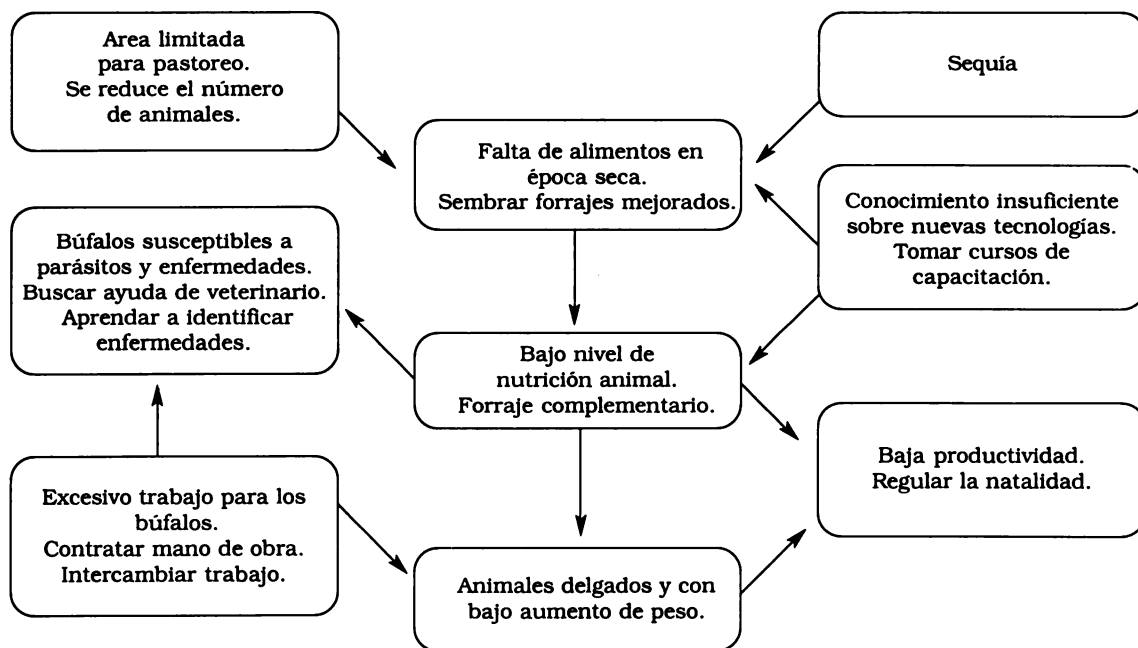


Figura 2. Problemas de alimento y mecanismos de reproducción animal en San Salvador, Matalom, Leyte, Filipinas.

nativos en áreas de descanso. Los recursos alimenticios suplementarios en la época seca son tallos y hojas de banano, leucaena, pasto napier, gliricidia y residuos de Maní.

Problemas de alimento, mecanismos de reproducción y prioridades de investigación

Los productores priorizaron sus problemas, los mecanismos de reproducción animal y sus intereses para futuras investigaciones (Figura 2).

Las preocupaciones principales eran la falta de acceso a información y capacitación sobre nuevas tecnologías de alimentación animal. Sus prioridades de capacitación, en su orden, fueron: producción de alimento y conservación para uso en época seca, manejo de la salud animal, prácticas de engorde y mejoramiento animal. La mayor limitación percibida en el levante de ganado era la baja disponibilidad de alimentos en la estación;

por tanto, en este caso, existía una gran necesidad de investigación.

Referencias

- Ashby, J. A. 1992. Manual para la evaluación de tecnología con productores. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Gracia, T. y Ashby, J. A. 1996. La evaluación de tecnología con productores y la gestión en evaluación de los comités de investigación agrícola local (CIAL). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Hernández, L. A. 1996. Evaluación participativa con productores en sistemas ganaderos de doble propósito del Piedemonte amazónico del Caquetá, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- IPRA (Investigación Participativa con Agricultores). 1992. El Programa CIAL. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Metodologías para la Evaluación de Adopción e Impacto de Pasturas Mejoradas: El Caso de Adopción Temprana de *Arachis pintoï* en Colombia

L. Rivas R.*

Resumen

El objetivo general de este trabajo es dar una visión global, desde la perspectiva socioeconómica, sobre las metodologías utilizadas en los estudios de adopción e impacto, e ilustrar cómo se pueden utilizar en el caso específico de la adopción de pasturas. Para el efecto se hizo un estudio preliminar sobre la fase de adopción temprana de *Arachis pintoï* cv. Maní Forrajero Perenne, liberado a fines de 1992 por el Instituto Agropecuario Colombiano (ICA) como una leguminosa de múltiples propósitos; asimismo, se elaboró una encuesta telefónica a 50 productores que habían comprado semilla y que estaban experimentando y evaluando este nuevo material en sus fincas.

Los resultados preliminares indicaron que el proceso de adopción de *A. pintoï* en Colombia era, en esa época, muy incipiente y que los productores estaban trabajando en lotes que no superaban, en promedio, 3 ha. El uso de la leguminosa era diversificado, y de un total de 95 lotes que fueron identificados, en el 39% de ellos la leguminosa se encontraba asociada con gramíneas, en 36% se cultivaba sola como semillero y en los lotes restantes se encontraba como cobertura de cultivos. La principal razón de los ganaderos para experimentar con Maní Forrajero era el interés en la búsqueda de nuevas opciones, que les permitieran mejorar la calidad y productividad de las pasturas. La mayoría de los productores manifestó que se encontraba satisfecha con los resultados obtenidos hasta ese momento; no obstante, una proporción significativa de ellos mencionó que había afrontado problemas en la siembra y el establecimiento. Los principales problemas fueron las dificultades para controlar malezas, la falta de agua y la poca tolerancia del material a la sequía, y su lento establecimiento. Debido a la experiencia lograda hasta ese momento, el 69% de los productores estaba dispuesto a ampliar las áreas de siembra con Maní Forrajero, especialmente para asociarlo con las gramíneas, por su buena cobertura una vez establecido y para prevenir y controlar problemas de erosión del suelo.

* Economista, MSc., Asociado de Investigación de la Unidad de Evaluación de Impacto, CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

Introducción

Se acepta ampliamente que los países de América Latina necesitan mejorar sus niveles de crecimiento, particularmente en el sector agropecuario y, en el especial, en los subsectores que producen alimentos. El alto crecimiento poblacional esperado, los déficits actuales en producción y el bajo consumo observado de alimentos en los sectores más marginados de la sociedad, muestran claramente la necesidad de incrementar la disponibilidad de alimentos básicos a precios accesibles para los consumidores y a costos que permitan a los productores mejorar sus ingresos y nivel de vida.

En las décadas pasadas, el desarrollo ganadero en la región se caracterizó por ser de tipo extensivo, donde la ampliación del área utilizada fue la principal fuente de crecimiento de la producción, en tanto que la productividad de los factores utilizados jugó un papel secundario en la expansión de la producción. Este patrón de crecimiento ganadero indujo a la ocupación de áreas marginales de baja productividad, sin el empleo de las tecnologías apropiadas. Lo anterior resultó en agudos problemas ambientales, tales como una acelerada deforestación, altos niveles de erosión y

compactación de los suelos y pérdida de la fertilidad natural. El reto tecnológico actual es desarrollar sistemas de producción ganaderos que puedan incrementar la producción y productividad a largo plazo, conservando la base de los recursos naturales y el medio ambiente.

En América Latina se ha hecho un importante esfuerzo por desarrollar nuevas tecnologías de pasturas que posibiliten el incremento de la productividad y la eficiencia productiva de los tradicionales sistemas extensivos de producción ganadera prevaletentes en la región, particularmente en las zonas tropicales bajas del continente.

Este esfuerzo multinacional e interinstitucional se ha reflejado en la liberación a los productores de un numeroso grupo de cultivares de gramíneas y leguminosas forrajeras, adaptadas a las difíciles condiciones edáficas y ambientales del trópico latinoamericano (Cuadro 1).

A pesar de lo anterior, los procesos de adopción y el impacto socioeconómico de las nuevas tecnologías de pasturas puede considerarse como limitado y con poca dinámica en el tiempo. Esta situación ha dado lugar a serias críticas desde diferentes sectores de la sociedad sobre la eficacia de

Cuadro 1. Gramíneas y leguminosas forrajeras adaptadas a suelos ácidos, liberadas como cultivares comerciales en países tropicales (1980-1996).

Especies	Ecotipo CIAT no.	Nombre del cultivar	Año de liberación	País
Gramíneas				
<i>Andropogon gayanus</i>	621	Carimagua 1	1980	Colombia
		Planaltina	1980	Brasil
		Sabanero	1983	Venezuela
		Veranero	1983	Panamá
		San Martín	1984	Perú
		Llanero	1986	México
		Andropogon	1988	Cuba
		Veranero	1989	Costa Rica
		Otoreño	1989	Honduras
		Gamba	1989	Nicaragua

(Continúa)

Cuadro 1. (Continuación).

Especies	Ecotipo CIAT no.	Nombre del cultivar	Año de liberación	País
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	6133	Llanero Gualaca Ganadero	1987 1992 1993	Colombia Panamá Venezuela
<i>B. brizantha</i>	6780	Marandú Brizantha Gigante Insurgente Diamantes 1	1984 1987 1989 1989 1991	Brasil Cuba Venezuela México Costa Rica
	26646	La Libertad	1987	Colombia
<i>B. decumbens</i>	606	Brachiaria Chontalpo Señal Pasto peludo	1986-87 1989 1989 1991	Cuba México Panamá Costa Rica
<i>B. humidicola</i>	679	INIAP-Napo Aguja Humidicola Humidicola Chetumal	1985 1989 1992 1990 1991	Ecuador Venezuela Colombia Panamá México
<i>Panicum maximum</i>	26900	Vencedor Tanzania 1	1990 1990	Brasil Brasil
Leguminosas				
<i>Arachis pintoi</i>	17434	Amarillo Maní forrajero perenne Amarillo-MG-100	1990 1992 1994	Australia Colombia Brasil
<i>Centrosema pubescens</i>	— 438	Villanueva El Porvenir	1993 1990	Cuba Honduras
<i>C. acutifolium</i>	5277	Vichada	1987	Colombia
<i>Clitoria ternatea</i>	20692	Thehuana Clitoria	1988 1990	México Honduras
<i>Desmodium ovalifolium</i>	350	Itabela	1989	Brasil
<i>Leucaena leucocephala</i>	21888	Romelia	1992	Colombia
<i>Pueraria phaseoloides</i>	9900	Jarocho	1989	México
<i>Stylosanthes capitata</i>	10280	Capica	1983	Colombia
<i>S. guianensis</i> var. <i>vulgaris</i>	184	Pucallpa Bihuadou (Zhuhuacao) Mineirao	1985 1987 1993	Perú China Brasil
<i>S. guianensis</i> var. <i>pauciflora</i>	2243	Bandeirante	1983	Brasil
<i>S. macrocephala</i>	1281	Pioneiro	1983	Brasil

FUENTE: Programa de Forrajes Tropicales del CIAT.

los sistemas regionales de investigación agropecuaria. Por tanto, no es de extrañarse que la proporción del producto interno bruto (PIB) que se destina a investigación agropecuaria en América Latina no sólo sea baja, sino que tienda a decrecer. Mientras en Colombia y Chile la proporción del PIB destinada a investigación agropecuaria no supera el 0.5%, en países como Japón y Alemania está alrededor de 3% (Banco Mundial). Según los datos del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), en el periodo 1985-1992 en 14 países de América Latina y el Caribe la reducción total de los presupuestos para investigación agropecuaria fue de US\$70.6 millones, 13% del total, equivalente a una reducción del 30% de los recursos disponibles por investigador.

Las restricciones financieras justifican plenamente el creciente interés de las instituciones y programas de investigación por desarrollar e incorporar nuevos métodos y técnicas que les permitan mayor eficiencia en la fijación de prioridades y en la asignación de recursos en los procesos de investigación agropecuaria. Gran parte de tales recursos provienen de fondos públicos, los cuales tienen un alto costo de oportunidad social; por ejemplo, en lugar de emplearlos en investigación pueden utilizarse en obras con alto retorno social, tales como construcción de vías, salud pública, educación, seguridad y bienestar social. En consecuencia, es preciso buscar la mayor racionalidad posible en el empleo de los escasos fondos de investigación, para garantizar a la sociedad un alto retorno social de los recursos invertidos en investigación agrícola.

En el caso de las pasturas mejoradas, existen distintos factores de orden técnico y socioeconómico que limitan severamente su uso masivo y rápido por parte de los productores ganaderos. Por lo anterior, es preciso encontrar mecanismos que permitan dinamizar los procesos para su adopción, y lograr, de esta manera, un alto impacto socioeconómico del esfuerzo realizado en investigación y desarrollo de tecnologías forrajeras. Para esto es necesario

documentar, analizar y entender la dinámica de los procesos de adopción de las nuevas pasturas y, sobre todo, identificar claramente los factores que frenan la adopción.

La anterior información es importante para retroalimentar los sistemas de investigación y transferencia de tecnologías, de tal manera que los investigadores en el diseño de las mismas puedan introducir oportunamente los ajustes necesarios para lograr una adopción más dinámica de las nuevas pasturas. Es necesario conocer las características, limitantes y oportunidades de los sistemas de producción, para diseñar mecanismos de transferencia de tecnologías de pasturas más eficientes y adecuados a las condiciones particulares de los diferentes tipos de productores y sistemas ganaderos. Es importante enfatizar que los procesos de adopción de las tecnologías de pasturas presentan especificidades que los diferencian muy claramente de los procesos de adopción en cultivos. El hecho de desarrollar nuevas pasturas en la finca es una decisión a largo plazo que implica una alta complejidad en su análisis e involucra numerosos factores de riesgo biológico y económico.

Existen limitantes técnicos y económicos de la adopción que escapan al control de los investigadores y que se relacionan con aspectos de nivel macro, entre ellos: políticas de precios, comercio exterior y crédito. En este campo, los estudios de adopción e impacto de las nuevas tecnologías pueden hacer una valiosa contribución para el diseño de políticas económicas y tecnológicas, que tiendan a mejorar la adopción y el impacto socioeconómico de las mismas.

Mediante la obtención de altos niveles de adopción e impacto socioeconómico y la documentación de los logros, se mejora la credibilidad en los sistemas de investigación y transferencia y se incrementan las probabilidades de lograr mejor financiación nacional e internacional para los planes y programas de investigación.

El objetivo general de este trabajo es dar una visión global, desde la perspectiva socioeconómica, sobre las metodologías utilizadas en los estudios de adopción e impacto, e ilustrar cómo ellas pueden ser utilizadas en el caso específico de la adopción de pasturas. Para el efecto, se presenta el estudio de la adopción temprana de *Arachis pintoi* en Colombia. En el artículo se incluyen los temas siguientes:

- (1) Introducción. (2) Características y especificidades de la inversión en pasturas. (3) Aspectos conceptuales en la evaluación de la adopción y el impacto. (4) Diferentes fases de los procesos de adopción-difusión. (5) Consideraciones metodológicas para el estudio de la adopción. (6) Adopción temprana de *A. pintoi* en Colombia. (7) Resumen y conclusiones.

La Inversión en Pasturas Mejoradas

La actividad ganadera se caracteriza por un prolongado ciclo de producción que puede cubrir 4 o más años. Lo anterior significa que la mayor parte de los recursos y las inversiones involucrados en el proceso productivo ganadero permanecen comprometidos por períodos más o menos prolongados. En los sistemas ganaderos extensivos de la región existe una alta proporción de la inversión total de la finca representada en tierra y ganado; por ejemplo, 70% en los Cerrados de Brasil, 63% en los Llanos de Venezuela, 82% en los Llanos Orientales de Colombia (Vera y Seré, 1985) y 82% en la región del Caquetá en Colombia (Ramírez et al., 1990).

La tierra en particular representa una proporción muy alta de los activos totales, y su valorización depende, en gran medida, de las condiciones económicas generales y, en muchas ocasiones, la formación de su precio obedece a factores especulativos independientes de su calidad y productividad. Con frecuencia se observa que, a medida que se valoriza la tierra, se hace más imperativo el empleo de mejores pasturas para incrementar la productividad de este factor.

La inversión en pasturas mejoradas es de mediano y largo plazo, en la cual muchos de sus costos y beneficios no son inmediatos, sino que se diferencian a lo largo de prolongados períodos, en los cuales pueden ocurrir cambios sustanciales en las condiciones económicas (ciclos y estacionalidad de precios ganaderos, cambios en precios de insumos) y ambientales (plagas y enfermedades, exceso o falta de lluvias, entre otros). Estas circunstancias hacen que la decisión de invertir en pasturas involucre un alto nivel de riesgo.

Por las anteriores circunstancias, los productores ganaderos son muy cuidadosos para tomar esta clase de decisiones. Generalmente prueban, a pequeña escala, los nuevos materiales, observan su comportamiento y efectúan por ensayo y error los ajustes necesarios a sus condiciones económicas y a los recursos disponibles en la explotación. Todo este proceso de observación y ajuste elaborado por los productores generalmente se le denomina "fase de adopción temprana o aceptabilidad". No se trata de una adopción definitiva, sino de una etapa de aprendizaje y toma de información para decidir si se adopta una tecnología forrajera en forma definitiva.

Generalmente, dentro de los planes y programas de desarrollo ganadero, la financiación para la formación de pasturas mejoradas recibe muy baja prioridad. Comúnmente, la mayor parte de los fondos se asigna para compra de ganado, mejoramiento y construcción de infraestructura, planes sanitarios, etc. Adicionalmente, los pequeños y medianos productores en muchas oportunidades se consideran no elegibles para participar en esta clase de programas, por su limitada capacidad de endeudamiento y por su escaso patrimonio para respaldar los créditos.

En general, los costos de establecimiento de nuevas pasturas son altos, especialmente en las regiones más marginales donde las relaciones de precios insumo-producto son

desfavorables para el productor —altos precios de insumos y bajos precios de productos. Lo anterior está asociado con bajos precios de la tierra. En estas condiciones, la opción de intensificar la producción utilizando pasturas mejoradas debe competir con la opción de ampliar la producción a través del uso de tierra adicional, recurso relativamente abundante y barato en las zonas más marginales o de frontera agrícola.

Debido a los altos costos de establecimiento, a los factores de riesgo ya mencionados y a la escasa financiación para el establecimiento de nuevas pasturas, se observa que los procesos de adopción de nuevos materiales forrajeros son lentos y de escasa magnitud, particularmente en las fases iniciales de adopción.

El desempeño del sector ganadero es dependiente en alto grado del desempeño económico general, ya que los productos ganaderos (carne y leche) presentan alta respuesta a cambios en los ingresos de los consumidores (alta elasticidad ingreso de la demanda). Esto determina que en épocas de expansión económica —crecimiento del ingreso real por habitante— se incrementa el consumo de estos productos y sus precios tienden a crecer, sucediendo lo contrario en las fases de depresión económica.

La demanda por nuevas pasturas se deriva, en consecuencia, de la demanda por los productos ganaderos. Esto explica por qué la demanda de semilla por nuevos materiales no es continua, sino que se concentra en determinadas épocas, por ejemplo, en la fase ascendente del ciclo de precios ganaderos cuando los productores retienen ganado e incrementan las inversiones en la finca. Se observa, también, que en periodos de auge económico y cuando los productores tienen otras fuentes de ingreso diferentes a la ganadería, frecuentemente invierten los excedentes de esas actividades en las fincas ganaderas.

Aspectos Conceptuales en la Evaluación de la Adopción y el Impacto de Tecnologías Agropecuarias

Los estudios de adopción buscan medir los niveles de uso de una tecnología específica dentro de una población objetivo, la cual puede ser un conjunto de productores en un sistema y región determinados: el rebaño vacuno del país o de una región, o un área previamente identificada como apta para la aplicación de la tecnología en evaluación. Por ejemplo, los indicadores del nivel de adopción de una tecnología de trasplante de embriones se pueden expresar de la manera siguiente: en el 30% del inventario de la Costa Norte se está aplicando la nueva tecnología y el 40% de los productores de la región la utilizan.

La adopción es un concepto estático que indica el grado de utilización de una tecnología en un momento específico en el tiempo. Por ejemplo, en 1995 el 40% de los productores de la Costa Norte empleaba la técnica de trasplante de embriones.

Los indicadores que miden el grado de adopción comúnmente se expresan en términos porcentuales o tasas de adopción: porcentaje del área total sembrado con asociaciones de gramíneas-leguminosas; proporción de productores que emplean pasturas asociadas de gramíneas y leguminosas; porcentaje del rebaño total en pasturas mejoradas.

Sin embargo, la adopción también puede expresarse en términos absolutos, por ejemplo, en 1989 el área neta en pasturas mejoradas en la Altillanura Oriental de Colombia era de 90,000 ha, en tanto que en 1992 era de 1,728,000 ha.

Algunos investigadores diferencian entre adopción y difusión. Al concepto estático de adopción adicionan el dinámico de difusión. Este último describe el patrón o evolución de la adopción a lo largo del tiempo, es decir, indica cómo varía la adopción en el tiempo.

El objetivo de los estudios de adopción no se limita únicamente a estimar los niveles de adopción o adaptación; es necesario, adicionalmente, entender e identificar los factores que determinan esos niveles. En este aspecto aparece la mayor contribución que estos estudios pueden hacer para retroalimentar, tanto a los sistemas de investigación como a los de transferencia de tecnologías.

Los procesos de adopción-difusión presentan un alto grado de complejidad porque involucran variables de muy diverso orden, entre ellas, variables físicas y agronómicas relacionadas con la tecnología y los recursos de la finca; variables económicas relacionadas con precios, costos y crédito y variables de tipo psicológico y sociológico asociadas con las vivencias, percepciones y grado de aversión al riesgo de quien toma las decisiones de inversión.

Por esta razón, los estudios de adopción se deben elaborar a partir de una conceptualización multidisciplinaria y sistémica que permita abarcar, en lo posible, todas las complejidades antes mencionadas.

Seré et al. (1990) anotan que en el caso de las pasturas tropicales, la adopción de un material específico depende, en alto grado, de su adaptación a ciertas características agroecológicas particulares, tales como topografía y propiedades físicas y químicas del suelo, que conforman un nicho, por lo cual en los estudios de adopción los conceptos agronómicos son fundamentales.

En la Figura 1 se muestra el flujo de información permanente existente en diversos sentidos dentro del proceso de diseño y evaluación de las nuevas tecnologías agropecuarias. Partiendo de una base o diagnóstico inicial, que describe las condiciones socioeconómicas y técnicas del área donde se pretende hacer una intervención tecnológica, se desarrolla la investigación básica, aplicada y adaptativa, la cual resulta en nuevas alternativas tecnológicas de producción para, posteriormente, realizar la transferencia y la extensión. En las primeras fases de la transferencia y extensión aparecen los estudios iniciales de adopción, fundamentalmente para conocer la dinámica del proceso de adopción y determinar los factores limitantes a la misma. Esta información regresa a los sistemas de investigación y de transferencia para hacer los ajustes adecuados y eliminar o atenuar las barreras de orden tecnológico y/o socioeconómicas que frenan la adopción.

Gran parte del esfuerzo en los estudios de adopción se concentra en identificar relaciones causa-efecto, es decir, qué factores y en qué magnitud influyen las tasas de adopción. Para este efecto se emplean diferentes metodologías: muestreos estadísticos y sondeos rápidos (RRA, por sus siglas en inglés: Rapid rural appraisal); y elaboración de estadísticos descriptivos y estimación empírica de relaciones matemáticas funcionales, que toman la tasa de adopción como variable dependiente y la relacionan con distintas variables

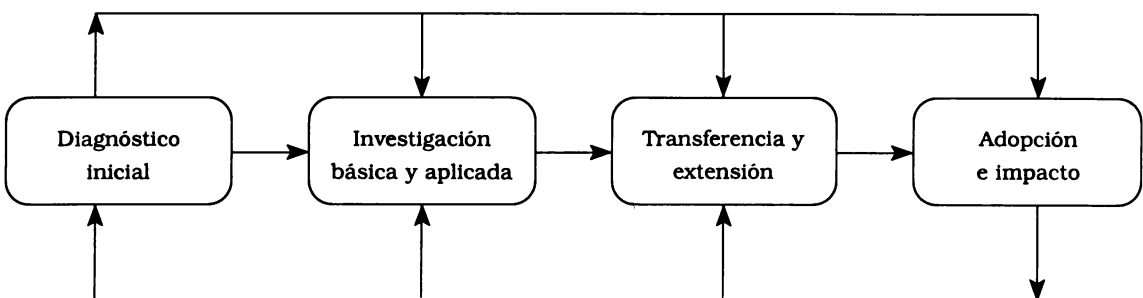


Figura 1. Flujo de la información en el proceso de diseño y evaluación de nuevas tecnologías agropecuarias.

independientes, las que hipotéticamente se supone son determinantes de la adopción.

Aparte de retroalimentar los sistemas de investigación y de transferencia de tecnología, los estudios de adopción también contribuyen a dar una mejor perspectiva a los investigadores sobre la demanda potencial de nuevas tecnologías, o sea, son un instrumento valioso para identificar y caracterizar las demandas tecnológicas y apoyar el diseño de planes y proyectos de investigación.

Se hace énfasis en que los estudios de adopción buscan medir y explicar los procesos de adopción, en tanto que los estudios de impacto pretenden cuantificar los distintos efectos directos e indirectos, socioeconómicos y ambientales que se producen por la adopción de nuevas tecnologías a diferentes niveles de agregación de finca, región o país.

El impacto de la adopción de nuevas tecnologías agropecuarias influye sobre numerosas variables económicas y ambientales, entre ellas, producción, precios, comercio, nutrición humana, pobreza, equidad, uso, nivel y productividad de los recursos naturales.

De acuerdo con el momento en el tiempo en el cual se elaboran, se distinguen dos clases de estudios de impacto: ex-ante y ex-post. Los primeros muestran el impacto potencial de los distintos proyectos, se efectúan para establecer prioridades de investigación y aportan elementos de juicio para elegir entre proyectos alternativos. Estos estudios son de interés para planificadores y diseñadores de política, administradores de la investigación e investigadores.

Las metodologías utilizadas en los estudios ex-ante se basan en el modelamiento matemático y en los análisis de sensibilidad. La información utilizada es principalmente secundaria, proviene de expertos calificados y se relaciona con variables como tamaño y ubicación de las

áreas susceptibles de impacto de las nuevas tecnologías, coeficientes técnicos y económicos asociados con ellas, y probabilidades de éxito en los procesos de investigación y transferencia.

Los estudios de impacto ex-post se elaboran una vez concluidas las fases de investigación, de transferencia y de adopción, y buscan medir el impacto real, directo e indirecto, logrado tanto a nivel de finca como el impacto agregado a nivel de región, cuenca o país. La metodología empleada en estos trabajos se basa en modelos económicos de equilibrio parcial, los cuales permiten estimar los beneficios sociales derivados del cambio tecnológico, tanto para productores como para consumidores. La información empleada se deriva especialmente de los estudios de monitoreo y seguimiento del proceso de adopción.

Los estudios ex-post son importantes para justificar la inversión social en investigación agropecuaria y atraer fondos para financiar la investigación; además, proporcionan elementos de juicio para la formulación de estrategias, planes y programas de desarrollo agropecuario.

Fases de los Procesos de Adopción y Difusión

La evidencia empírica muestra que los procesos de adopción-difusión de nuevas tecnologías agropecuarias obedecen a un patrón no lineal en el tiempo. Las primeras evidencias sobre este comportamiento fueron desarrolladas por Griliches (1953) en su estudio sobre la adopción de maíz híbrido en los Estados Unidos. Posteriormente, otros investigadores han confirmado los hallazgos iniciales de Griliches. En el caso de pasturas, aunque la literatura sobre el tema es muy limitada, existen los trabajos de Jarvis (1981) en Uruguay, Ramírez (1990) en el Caquetá, Colombia, y Cadavid (1995) en la Altillanura Oriental de Colombia, quienes al estudiar los procesos de adopción de nuevas pasturas encontraron resultados

que confirman que la adopción en pasturas no es un proceso lineal, sino que se ajusta a un modelo sigmoide o logístico.

La Figura 2 muestra un patrón teórico o esperado del comportamiento de la adopción de nuevas tecnologías en el transcurso del tiempo. En el eje X aparece la tasa de adopción: proporción de productores, área e inventario, entre otros, que utilizan o que están bajo la nueva tecnología. En el eje Y aparece la variable tiempo. En el patrón esperado de adopción se distinguen tres fases: adopción temprana o aceptabilidad, adopción consolidada y adopción terminal o tardía.

Adopción temprana o aceptabilidad

La primera fase del proceso de adopción es de conocimiento, ensayo, prueba y ajuste por parte de los productores, con el objeto de reunir elementos de juicio sobre el comportamiento de las nuevas tecnologías en las condiciones específicas de la unidad productiva. Estas observaciones incluyen tanto aspectos técnicos de manejo y productividad como elementos económicos relacionados con costos, inversiones, rentabilidad y viabilidad de las nuevas técnicas bajo observación.

En la medida en que en las fases de la investigación adaptativa y de investigación en fincas se logre generar y documentar gran parte de la anterior información, es posible disminuir la duración de la adopción temprana, ya que se están aportando elementos de juicio para que los productores reduzcan el periodo de observación y ensayo y logren, de esta forma, un mayor grado de certeza sobre el comportamiento esperado de las nuevas alternativas tecnológicas.

Se debe tener en cuenta que, en el caso de las pasturas, la fase de adopción temprana es más crítica que en los cultivos semestrales o anuales. La decisión de adoptar una nueva variedad de pasto implica tomar una decisión de inversión de mediano y largo plazo, en la cual están involucradas cantidades importantes de recursos productivos, particularmente de capital, el recurso más escaso en las pequeñas y medianas explotaciones ganaderas.

Las decisiones sobre la adopción de nuevas variedades en cultivos temporales son menos complejas debido a que en un corto periodo es posible conocer su desempeño y rápidamente decidir si se adopta o desecha. El largo periodo

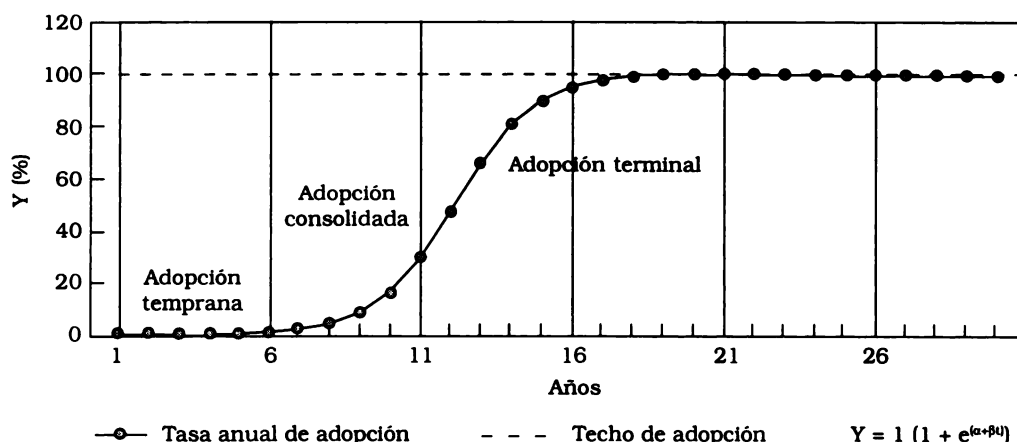


Figura 2. Esquema teórico de la dinámica de adopción.

productivo característico de la ganadería, las oscilaciones cíclicas y estacionales de los precios y de la producción y, en algunos casos, las altas probabilidades de plagas y de enfermedades y los elevados costos de establecimiento, ameritan una cuidadosa evaluación por parte de los productores.

La fase de adopción temprana se caracteriza principalmente por el reducido número de productores que inicialmente ensayan con los nuevos materiales y, en consecuencia, la dinámica del proceso es muy lenta, la disponibilidad de semilla es baja y sus precios altos. Lo anterior se observa claramente en el caso de *Andropogon gayanus* en la década de los 80 y actualmente con *Arachis pintoi*. En esta etapa no es conveniente hablar de adopción en sentido estricto, ya que algunos productores experimentan a pequeña escala con los nuevos materiales para, finalmente, decidir no emplearlos. Se deben considerar como verdaderos adoptadores aquellos que, habiendo probado los nuevos materiales, deciden continuar las siembras e incorporarlas definitivamente al sistema de producción.

Adopción consolidada

En esta fase, el proceso de adopción es muy dinámico y se caracteriza por: (1) un efecto multiplicador de las experiencias positivas obtenidas por los productores en la fase previa de aceptabilidad; (2) el desarrollo de los mercados de semillas y de insumos críticos; (3) un incremento notorio en la demanda por semilla de los nuevos cultivos y una expansión de la oferta de la misma; (4) una reducción en los precios de la semilla en relación con los observados en la etapa inicial, como resultado de la desaparición de las ganancias especulativas debido a la incorporación de nuevos productores al mercado. Todo lo anterior resulta en un crecimiento sostenido, a tasas crecientes, de la adopción.

Adopción tardía o terminal

Es la última fase y durante ella la tasa de adopción continúa creciendo, pero a

tasas cada vez menores, ya que el proceso se acerca a su límite superior. Este límite está definido, entre otros, por el tamaño de la población objetivo o número de productores, inventario ganadero total y área total a impactar.

Las fases anteriores conforman el tipo de función matemática denominada sigmoide o logística, la cual se expresa como:

$$y_t = \frac{K}{1 + e^{\alpha + \beta t}}$$

donde:

y_t = Tasa de adopción por unidad de tiempo (%).

K = Asimptota de la función que corresponde al límite superior del proceso de adopción.

β = Constante.

α = Tasa de crecimiento de la adopción/unidad de tiempo.

t = Variable tiempo.

La función anterior tiene como único argumento el tiempo; no obstante, puede incluir otras variables explicatorias continuas o discretas como precios, tamaño del hato, presencia de plagas y grado de erosión. Jarvis (1987) y Ramírez (1990) estimaron varias funciones de adopción de pasturas, empleando modelos con múltiples variables explicatorias.

Consideraciones Metodológicas para el Estudio de la Adopción

Cuando se evalúan y analizan los procesos de adopción, es necesario tener presentes algunas características de la industria ganadera en general y de la siembra de pasturas en particular.

La persistencia o vida útil

Es una variable esencial de las pasturas para determinar la superioridad de un tipo sobre otro. La persistencia está altamente asociada con la degradación o la productividad de la pastura a través del tiempo. En las fases tempranas de la adopción es difícil tener una idea clara de la persistencia esperada de los nuevos cultivares, de su productividad a lo largo de su vida útil y, en muchas oportunidades, del tipo de manejo necesario para garantizar una persistencia y productividad que justifiquen económicamente su adopción. En situaciones donde el costo de establecimiento de la pastura es mayor o muy cercano al precio de la tierra, la persistencia se torna más crítica al momento de tomar la decisión.

Debido a que los beneficios de la pastura se distribuyen a lo largo del tiempo, para analizar su bondad económica es preciso darle el tratamiento de inversión y no de gasto. Las condiciones ambientales, el manejo y la historia del lote pueden influir significativamente la productividad de las pasturas, lo cual representa una seria dificultad para su evaluación, tanto a nivel experimental como en la finca. Lo anterior implica mayor cantidad de evaluaciones y más prolongados periodos de evaluación por parte de investigadores y productores.

La cantidad de semilla comercializada

Se utiliza en muchos estudios como un indicador del nivel de adopción; sin embargo, aunque es útil, presenta algunos limitantes que pueden conducir a conclusiones equivocadas sobre la magnitud de las áreas efectivamente sembradas. Muchos productores inicialmente adquieren semilla sexual para establecer semilleros y, posteriormente, aumentan el área utilizando material vegetativo. Cuando la calidad de la semilla es baja o su precio es alto, o cuando la oferta es escasa, la propagación mediante material vegetativo es común; por tanto, se puede incurrir en serios errores, si se emplean los volúmenes de ventas de semilla

por las casas comerciales para estimar las áreas sembradas.

Por otra parte, no toda la semilla producida se comercializa en el mercado formal. Cuando los precios son muy atractivos suelen ocurrir transacciones de semillas producidas por los ganaderos y que no pasan por el mercado formal. En los cultivos comerciales, la cantidad de semilla vendida es una buena base para la estimación de las áreas cultivadas. Pero, en el caso de las semillas de forrajeras se presentan, adicionalmente, problemas como la calidad y densidades de siembra muy variables. Lo anterior conduce a concluir que la estimación de las áreas sembradas a partir de las ventas de semilla es un indicador útil, pero se debe interpretar con cierta cautela.

Método de muestreo y confiabilidad estadística

Debido a las dificultades para estimar las áreas plantadas con nuevos materiales forrajeros utilizando semilla comercializada formalmente, se apela, con frecuencia, a métodos estadísticos de muestreo para elaborar tales estimaciones. Como no es factible, por razones de costo y de tiempo, hacer observaciones en todo el universo de fincas, es decir, elaborar un censo, normalmente se hacen muestreos para hacer inferencia en relación con universo y reducir los costos de recolección de información.

Generalmente, las observaciones se extraen de marcos muestrales, que se pueden elaborar a partir de diversas fuentes de información: registros catastrales, listados de productores inscritos en planes sanitarios, listados de productores socios de cooperativas, entre otras.

En relación con los marcos muestrales y los costos del muestreo, Seré et al. (1993) consideran que los estudios de adopción e impacto siempre tienen un compromiso entre el rigor del marco muestral y la disponibilidad de estos marcos y/o el costo de generarlos. Ruano (1993), a su vez,

señala que, en la medida en que la investigación y sus resultados ofrezcan mayores riesgos, mayor es el rigor científico en cuanto a reducir las probabilidades de error. Mientras en medicina humana un error del 10% es inadmisibles, en la investigación agropecuaria errores del 5%, 10% y hasta del 20% son totalmente permisibles.

Es muy clara la estrecha correlación entre tamaño de la muestra, el error admisible y el nivel de confianza. Si se toma la fórmula de tamaño mínimo de muestra para estimar una media poblacional, se encuentra que:

$$n = \frac{S^2 t^2}{d^2}$$

donde:

n = tamaño mínimo de muestra,
S² = varianza poblacional, d = error máximo admitido, t = valor de la abscisa de la distribución de probabilidad para un nivel de confianza predeterminado.

De esta ecuación se infiere rápidamente que si se reduce el error admitido del estimador (d) se aumenta el tamaño mínimo requerido de la muestra (n) y, en consecuencia, el costo y tiempo de recolección de la información. Igualmente, si se incrementa el nivel de confianza admisible, expresado por el valor de t, el tamaño mínimo requerido de la muestra aumenta en forma directamente proporcional.

La experiencia indica que, en los muestreos para estimar niveles de adopción en las fases tempranas de la misma, el rigor estadístico del muestreo no es tan perentorio, ya que estos estudios son, ante todo, de carácter descriptivo y exploratorio, donde la unidad de observación es la finca, las observaciones no están controladas y se da mayor énfasis a la estimación de las tasas de adopción que a la prueba de hipótesis. Un muestreo totalmente aleatorio tiene el inconveniente de que las fincas adoptadoras en las fases tempranas

representan una fracción muy baja del universo, por lo que el muestreo totalmente al azar llevaría a trabajar con muestras muy grandes y de alto costo. La mayor parte de los estudios elaboran sus marcos muestrales básicamente a partir de información de casas vendedoras de semilla, y agencias de asistencia técnica y crédito, que disponen de información sobre los productores que están adoptando las nuevas tecnologías.

En resumen, al elaborar los muestreos se tienen varios compromisos entre su costo, la calidad de la información, el tiempo disponible y la oportunidad de los resultados.

Adopción Temprana de *A. pintoi*: El Caso de Colombia

En 1992, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) liberó, después de las fases de adaptación y ajuste, la leguminosa forrajera *A. pintoi* con el nombre de Maní Forrajero Perenne.

Esta leguminosa se adapta bien a las regiones tropicales desde el nivel del mar hasta 1800 m.s.n.m. Presenta un buen desempeño en áreas con niveles de precipitación anual entre 1500 y 3000 mm (Rincón et al., 1992). Es una especie promisorio, perenne y de múltiple propósito como pastura sola o en asociación con gramíneas y como cobertura para protección del suelo.

En 1995, la Unidad de Estudios de Impacto y el Programa de Forrajes Tropicales del CIAT iniciaron un estudio con el objeto de conocer y hacer una monitoria dinámica del proceso de adopción, aún muy incipiente, sobre la adopción temprana de Maní Forrajero en Colombia. Los objetivos del estudio fueron: (1) Documentar la dinámica del proceso de adopción. (2) Identificar el uso del material en sus múltiples propósitos. (3) Conocer los problemas en la siembra y el

establecimiento de la leguminosa enfrentados por los primeros adoptadores. (4) Cuantificar el número de lotes y el tamaño de las siembras. (5) Conocer las experiencias positivas y negativas de los productores adoptadores. (6) Conocer la dinámica futura del proceso a través de las expectativas de nuevas siembras por parte de los productores. (7) Conocer la importancia y uso actual de las leguminosas forrajeras.

El trabajo se basó en información recolectada en una encuesta entre productores que estaban experimentando con Maní Forrajero. La encuesta se elaboró en forma telefónica durante junio de 1995. Para el inicio del estudio se contactaron diferentes entidades nacionales que estaban realizando actividades de promoción del material, bien como productores de semilla o asistentes técnicos a los productores.

Se identificaron las siguientes instituciones que desarrollan estas actividades:

- Centro Nacional de Investigaciones del Café, Cenicafé
- Comité de Ganaderos de Antioquia
- Cooperativa de Ganaderos y Agricultores de Risaralda, CODEGAR
- Servicios Internacionales para Sistemas de Semillas Ltda., SERVICESEMIILLAS

La colaboración de las anteriores instituciones fue muy útil para identificar a los productores que habían comenzado a experimentar con Maní Forrajero, y permitió la elaboración del marco muestral.

La información sobre ventas de semilla suministrada por SERVICESEMIILLAS y el Comité de Ganaderos de Antioquia, permitió elaborar un listado de 102 compradores con su respectivo número telefónico, en la mayoría de los casos. Cabe señalar que en el momento de la encuesta, la firma SERVICESEMIILLAS comercializaba cerca del 90% de la semilla que vendía en el país.

Cenicafé promocionaba el material suministrando información a los productores interesados a través de parcelas demostrativas y días de campo en la estación experimental La Romelia, en Chinchiná, Caldas. Esta última institución ha impulsado el uso de Maní Forrajero, más como cobertura en las plantaciones de café y de frutales, que su uso en ganadería. Las actividades de promoción de CODEGAR se concentraban en la venta directa de semilla y en el patrocinio de días de campo. El Comité de Ganaderos de Antioquia desarrollaba una fuerte actividad promocional vendiendo semilla, suministrando información sobre el material y organizando giras de los productores a los días de campo y a las estaciones experimentales.

Del marco muestral de 102 productores se tomó una muestra de 50, que se entrevistaron por teléfono. La información de ventas de semillas para el período 1993-1994 mostró que la leguminosa se estaba diseminando ampliamente en el país, aunque, como era de esperar, el volumen total de ventas y las compras individuales de los productores aún eran moderadas. En el período señalado se vendieron 5.2 TM de semilla, en tanto que en 1995 el volumen de ventas llegó a 2.5 TM (Cuadro 2).

Distribución geográfica de las ventas de semilla

El Cuadro 2 indica que en el período 1993-1994 el mayor volumen de ventas se concentró en los departamentos de Antioquia y Valle del Cauca, y en la Orinoquia. La crisis cafetera alcanzó un pico muy alto en esos años por las bajas cotizaciones del grano en los mercados externos y por los problemas de broca que afectaron, principalmente, las áreas cafeteras más marginales. Lo anterior condujo a una reducción del área cultivada con café y a su reemplazo por pasturas. Sin embargo, parece que se trató de una situación coyuntural, porque tan pronto se recuperaron los precios del café, el proceso de sustitución de área cafetera por pasturas se redujo.

Cuadro 2. Ventas de semilla (kg) de *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero Perenne* en Colombia en el periodo 1993-1994 y 1995.

Región o destino	1993-1994		1995	
	Total	Porcentaje del total	Total	Porcentaje del total
Antioquia	1746	33.8	545	21.7
Llanos y Amazonía	1365	26.5	1340	53.3
Valle y Cauca	1110	21.5	300	11.9
Centro del país	298	5.8	150	6.0
Zona Cafetera	267	5.2	60	2.4
Oriente del país	229	4.4	100	4.0
Costa Norte	87	1.7	—	—
Exportación	30	0.6	—	—
Otras zonas	28	0.5	20	0.7
Total (kg)	5160	100.0	2515	100.0

a. Pureza física: 97%; germinación mínima: 65%; viabilidad mínima: 90%; Recomendación para siembra: 5 kg/ha.

FUENTE: SERWISEMILLAS.

Es importante resaltar que en 1995 las ventas de semilla tendieron a concentrarse en los Llanos Orientales y en la Amazonía, regiones predominantemente ganaderas, donde la competencia de la ganadería con los cultivos se circunscribe a unas pequeñas áreas.

El Cuadro 3 ilustra la distribución de las encuestas en varias regiones del país, las cuales se concentran, principalmente, en la región cafetera: Caldas, Quindío, Risaralda, Caldas y Antioquia.

Cuadro 3. Distribución de las encuestas sobre adopción de *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero Perenne, según región geográfica. Colombia, 1995.

Zona	Encuestas (no.)	Porcentaje del total
Zona Cafetera	23	46
Costa Norte	6	12
Llanos Orientales	4	8
Zona Oriental	4	8
Valle del Cauca	6	12
Zona Sur	4	6
Otras regiones	3	6
Total	50	100

Fuentes de información de los adoptadores

Las encuestas revelan que son muy diversas las fuentes de información utilizadas por los productores para tener conocimientos sobre el nuevo cultivar. Las fuentes de información para cerca del 60% de los adoptadores tempranos han sido boletines técnicos, Comités de Ganaderos, CIAT y asistentes técnicos particulares (Cuadro 4).

Cuadro 4. Fuentes de información de los adoptadores tempranos de *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero en Colombia. 1995.

Fuente de información	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Boletín técnico	8	16
Comité de Cafeteros	8	16
CIAT	7	14
Asistente técnico	6	12
Día de campo	4	8
Artículos de prensa	6	12
Otro productor	3	6
Cenicafé	2	4
CODEGAR	2	4
Otras fuentes	4	8
Total	50	100

Razones para ensayar con Maní Forrajero

Se nota claramente que existe una alta demanda potencial por nuevos materiales forrajeros de alta productividad. El 42% de los entrevistados argumentó que la principal razón para experimentar y ensayar con Maní Forrajero es la necesidad de tener pasturas con mayores niveles de productividad que las que poseen en el momento. El 28% de los entrevistados manifestó que usa la leguminosa para cobertura del suelo y el 8% para controlar problemas de erosión (Cuadro 5).

Formas de utilización

Este nuevo cultivar tiene características múltiple-propósito. De un total de 95 lotes sobre los cuales se obtuvo información, en el 39% de ellos se encontró asociado con gramíneas, siendo su tamaño, en promedio, de 5 ha. Igualmente, un porcentaje similar de lotes se encontraba establecido como semilleros para su posterior propagación en la finca mediante el empleo de material

vegetativo. El promedio de los semilleros era, aproximadamente, de 1 ha. En una cuarta parte de los lotes, la leguminosa aparecería como cobertura del suelo en cultivos de café, banano, cítricos, aguacate y palma africana. El promedio del tamaño de los lotes indica que el proceso de adopción es aún incipiente y que los productores se hallan en una fase de experimentación a pequeña escala (Cuadro 6).

Problemas durante la siembra y el establecimiento

Dos terceras partes de los productores entrevistados no encontraron problemas en las etapas de siembra y establecimiento. No obstante, existe una proporción significativa de adoptadores tempranos (28%) que tuvieron problemas en esas etapas (Cuadro 7).

El problema más frecuente fue la dificultad para controlar malezas (35%), seguido por los problemas asociados con la falta de agua y la sequía (19%), el lento establecimiento de la leguminosa (15%) y la

Cuadro 5. Principales razones de los adoptadores tempranos para ensayar con *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero. Colombia, 1995.

Tipo de motivación	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Pasturas más productivas	21	42
Como cobertura del suelo	14	28
Para controlar la erosión	4	8
Por su reciclado de N y para control de malezas	4	8
Por su reciclado de N	3	6
Otras razones	4	8
Total	50	100

Cuadro 6. Distribución y promedio del tamaño de lotes en fincas de adoptadores de *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero, según su forma de utilización. Colombia, 1995.

Forma de utilización	Lotes (no.)	Porcentaje del total	Tamaño del lote (ha)
Asociado con pastos	37	38.9	4.78
Como cobertura del suelo	24	25.3	1.76
Solo, como semillero	34	35.8	1.12
Número total de lotes	95	100.0	2.60

Cuadro 7. Frecuencia de aparición de problemas en la siembra y el establecimiento de *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero. Colombia, 1995.

Detalle	Productores (no.)	Porcentaje del total
Ha tenido problemas	14	28
No ha tenido problemas	33	66
Ha tenido problemas en algunos lotes	3	6
Total	50	100

mala germinación de la semilla y, en menor escala, falta de maquinaria para la preparación, ataques de hormigas, y falta de conocimiento de los productores de algunos aspectos técnicos como densidades de siembra y manejo del pastoreo (Cuadro 8).

Grado de satisfacción de los agricultores adoptadores

El 70% de los productores señaló que se encontraban satisfechos con los resultados obtenidos hasta ese momento. Una baja proporción de ellos estaba satisfecho parcialmente (6%), el 20% no lo estaba y para el restante 4% el corto tiempo de ensayo con el nuevo material no le permitía emitir un juicio fundamentado sobre los problemas y logros (Cuadro 9).

Entre quienes no estaban satisfechos con la experiencia se trató de determinar las

causas para ello; los resultados indicaron que la principal fuente de insatisfacción fue la pérdida total o parcial de las siembras, seguido por el lento establecimiento, la pobre adaptación a la época seca y la lenta recuperación después de la época seca (Cuadro 10).

Expectativas sobre nuevas siembras

Con el objeto de estimar en forma aproximada la magnitud del proceso de adopción en el futuro, se preguntó a los adoptadores sobre sus planes de establecimiento de nuevas áreas. Aproximadamente, el 70% de ellos planeaba ampliar las áreas sembradas, una cuarta parte fue manifestó que no continuaría ensayando con este material y el 10% restante aún no había tomado una decisión (Cuadro 11).

Cuadro 8. Problemas identificados por los productores en la siembra y establecimiento de *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero. Colombia, 1995.

Tipo de problemas	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Dificultad en el control de las malezas	9	34.7
Lento establecimiento	4	15.5
Falta de agua y resistencia a la sequía	5	19.3
Ataque de hormigas	2	7.7
Inadecuada preparación del suelo	1	3.8
Mala germinación	1	3.8
Falta de maquinaria para la preparación del suelo	1	3.8
Mala calidad de la semilla vegetativa	1	3.8
Sobrepastoreo	1	3.8
Falta de conocimiento sobre las densidades de siembra	1	3.8
Total	50	100.0

Cuadro 9. Nivel de satisfacción de los agricultores adoptadores tempranos de *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero. Colombia, 1995.

Nivel de satisfacción	Productores (no.)	Porcentaje del total
Está satisfecho	34	69.4
No está satisfecho	10	20.4
No totalmente	3	6.1
Aún no sabe	2	4.1
Total	50	100.0

La mayor parte de quienes planeaban ampliar las siembras adujo que deseaba establecer asociaciones de *A. pintoi* con gramíneas, mientras que otros señalaron que algunos atributos de la leguminosa como buena cobertura, eficiencia para controlar malezas, rápido establecimiento y capacidad para prevenir y controlar la erosión del suelo, los motiva a la ampliación de las áreas de siembra (Cuadro 12).

Algunas de las razones para no ampliar las áreas de siembra fueron la falta de desarrollo del cultivo, resultados no satisfactorios, presencia de otras leguminosas con mejor desempeño y falta de apoyo técnico (Cuadro 13). Uno de los atributos clave para la adopción de las especies forrajeras es su palatabilidad o aceptación del ganado. Se consultó a los productores sobre este atributo en el caso del Maní Forrajero y se encontró que el 47% de ellos había observado buen consumo de la leguminosa por los animales, el 8% consideró que los animales no lo consumen o lo consumen en baja proporción, y el 45% no sabía porque todavía no había introducido los animales en la pastura de Maní Forrajero (Cuadro 14).

La encuesta también incluyó algunas preguntas generales sobre siembra de pasturas y otras leguminosas. En los 3 años anteriores a la encuesta, el 63% de los ganaderos entrevistados había sembrado nuevas pasturas en su finca. Esta alta

Cuadro 10. Causales de insatisfacción de los agricultores que han experimentado con *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero. Colombia, 1995.

Causas de insatisfacción	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Pérdida total o parcial durante la siembra	5	33.3
Lento establecimiento	4	26.8
Falta de agua, pérdida de plantas y lenta recuperación después de la época seca	3	20.0
Baja producción de semilla	1	6.7
Mala germinación	1	6.7
No llenó las expectativas	1	6.7
Total	50	100.0

Cuadro 11. Expectativas de nuevas siembras entre adoptadores tempranos de *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero. Colombia, 1995.

Expectativa	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Planea ampliar las áreas sembradas	34	69.4
No planea ampliar las áreas sembradas	10	20.4
Aún no ha decidido	5	10.2
Total	49	100.0

Cuadro 12. Razones de los adoptadores tempranos para ampliar las siembras de *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero. Colombia, 1995.

Razones	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Para asociarlo con gramíneas	11	32.3
Por su buena cobertura	6	17.7
Para controlar malezas	3	8.8
Por su rápido establecimiento	3	8.8
Para ganar más conocimiento sobre el material	2	5.9
Para tener pasturas de mejor calidad	2	5.9
Para controlar erosión	2	5.9
Otras razones	5	14.7
Total	50	100.0

Cuadro 13. Razones de los adoptadores tempranos para no ampliar las siembras de *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero. Colombia, 1995.

Razones	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
Falta de desarrollo del cultivo	6	60
Los resultados obtenidos no son satisfactorios	2	20
Otras leguminosas funcionan mejor	1	10
Falta de apoyo técnico	1	10
Total	10	100

Cuadro 14. Consumo de *Arachis pintoi* cv. Maní Forrajero por animales en fincas adoptadores tempranos. Colombia, 1995.

Observación sobre consumo	Productores (no.)	Porcentaje del total
Lo consumen bien los animales	23	46.9
No lo consumen o lo consumen en baja proporción	4	8.2
No lo habían pastoreado	22	44.9
Total	49	100.0

demanda por pasturas indica que las nuevas alternativas forrajeras podrían hacer un aporte sustancial a los sistemas de alimentación.

La siembra de otras leguminosas parece ser importante, ya que el 63% señala que ha sembrado otras leguminosas, lo cual indicaría que existe conciencia entre los

productores del valor de las leguminosas. No obstante, existe una proporción relativamente alta de productores, 38.7%, que no estaban satisfechos con el desempeño de las leguminosas (Cuadro 15). Las leguminosas más frecuentemente sembradas eran *Pueraria phaseoloides*, *Leucaena leucocephala* y *Gliricidia sepium* (Cuadro 16).

Cuadro 15. Siembra de pasturas y leguminosas en fincas que estaban ensayando con *Arachis pintoi* cv. Mani Forrajero. Colombia, 1995.

Tipo de pastura y grado de satisfacción	Productores (no.)	Porcentaje del total
Pasturas		
Habían sembrado pastos en los 3 últimos años	31	63.2
No habían sembrado pastos	18	36.8
Total	49	100.0
Leguminosas diferentes a <i>A. pintoi</i>		
Habían sembrado otras leguminosas en la finca	31	63.2
No habían sembrado otras leguminosas	18	36.8
Total	49	100.0
Grado de satisfacción con las leguminosas		
Estaban satisfechos con los resultados con las leguminosas	19	61.3
No estaban satisfechos	12	38.7
Total	31	100.0

Cuadro 16. Especies de leguminosas forrajeras sembradas en fincas adoptadores tempranas de *Arachis pintoi* cv. Mani Forrajero. Colombia, 1995.

Especie	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa (%)
<i>Pueraria phaseoloides</i>	15	34.1
<i>Leucaena leucocephala</i>	9	20.5
<i>Gliricidia sepium</i>	6	13.9
<i>Desmodium ovalifolium</i>	3	6.8
<i>Centrosema pubescens</i>	3	6.8
<i>Tetragonolobum gigantea</i>	2	4.5
<i>Mucuna</i> sp.	1	2.3
<i>Canavalia ensiformis</i>	1	2.3
Otras	4	9.1
Total	44	100.0

Conclusiones

Existe una necesidad, cada vez más apremiante, por lograr una mayor eficiencia de la inversión social en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías agropecuarias. En parte, esto se logra mediante la asignación eficiente de los recursos en los procesos de investigación y transferencia de tecnologías. Es necesario

que el esfuerzo de investigación se materialice en una rápida difusión de las nuevas tecnologías, lo cual representa beneficios sociales directos e indirectos en términos de incrementos de la producción y la productividad, así como en el comercio, en la reducción de precios a los consumidores y, en algunos casos, en impactos positivos sobre el medio ambiente y los recursos naturales.

Los estudios de adopción e impacto se visualizan como herramientas útiles en la toma de decisiones de investigación, ya que ayudan a priorizar las numerosas alternativas y permiten retroalimentar los sistemas de investigación y transferencia de tecnologías, para elaborar los ajustes requeridos que favorezcan la rápida adopción y difusión de las nuevas técnicas productivas.

La adopción de pasturas es esencialmente más compleja que la adopción de nuevas variedades en cultivos anuales o semestrales. Los beneficios y costos asociados con la inversión en pasturas se distribuyen a lo largo de periodos más o menos prolongados. En los sistemas ganaderos extensivos tradicionales, la pastura es un recurso que absorbe una

alta proporción del capital total de la finca. El ciclo productivo de la ganadería cubre varios años, por lo cual las decisiones de inversión en esta actividad implican la evaluación de numerosos riesgos de carácter económico y biológico.

Los estudios de adopción básicamente tratan de documentar la dinámica de estos procesos y, principalmente, de identificar los factores que posibilitan o limitan la adopción. Los estudios de impacto buscan medir los efectos de la adopción en términos de producción, productividad, precios, costos, flujos comerciales y sobre los recursos naturales y el medio ambiente.

Las fuentes de información empleadas en los trabajos de adopción son de diversa índole: sondeos rápidos, muestreos aleatorios y dirigidos, informantes calificados e información secundaria. Para la identificación de los factores determinantes de la adopción se emplean técnicas econométricas para el ajuste de funciones matemáticas que generalmente corresponden al tipo sigmoide o logístico. Las variables determinantes y condicionantes de la adopción son de diversa naturaleza, entre ellas, económicas, sociológicas, psicológicas y agronómicas, por lo cual para tratar de analizar la adopción es preciso abordarla mediante enfoques multidisciplinarios y sistematizados.

En los procesos de adopción-difusión se pueden distinguir las etapas de adopción temprana o aceptabilidad, adopción consolidada y adopción terminal o tardía. Se concluye que una de las etapas más críticas de la adopción es su fase inicial o temprana, en la cual los productores experimentan, observan y ajustan la tecnología a sus condiciones particulares, antes de tomar una decisión final sobre la adopción de un nuevo material. En el caso de las pasturas, este proceso de observación y ajuste puede durar varios años. Los estudios sobre la adopción temprana o aceptabilidad ayudan a identificar oportunamente los factores técnicos, sociales y económicos que impiden la difusión.

Referencias

- Cadavid, H. J. 1994. Comportamiento y limitantes de la adopción de pastos y cultivos asociados en los Llanos Orientales de Colombia, 1994. Tesis M.Sc. Universidad del Valle, Facultad de Ciencias Sociales y Económicas - Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa Trópico Bajo, Cali, Colombia.
- Jarvis, L. S. 1981. Predicting the diffusion of improved pastures in Uruguay. *Am. J. Agric. Econ.* 63:3.
- Ramírez, A. y Seré, C. 1990. *Bracero decumbens* en el Caquetá: Adopción y uso en ganaderías de doble propósito. Proyecto Colaborativo Nestlé de Colombia, Fondo Ganadero del Valle, INCORA, SENA, Universidad de la Amazonia, ICA y CIAT. Documento de trabajo no. 67. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Rincón, A. C.; Cuesta, P. A.; Pérez, R. B.; Lascano, C. E.; y Ferguson, J. 1992. Maní Forrajero Perenne (*Arachis pintoi* Krapovickas y Gregory): Una alternativa para ganaderos y agricultores. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Subgerencia de Investigación, División de Producción Pecuaria, Programa de Pastos y Forrajes. Instituto Colombiano Agropecuario-Centro Internacional de Agricultura Tropical (ICA-CIAT). Boletín técnico no. 219.
- Ruano, S. 1993. Diagnóstico y caracterización de sistemas de producción. El diagnóstico estático. Memorias del Taller Investigación con Pasturas en Fincas. Séptima Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Documento de trabajo no. 124. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Seré, C.; Estrada, R. D.; y Ferguson, J. 1993. Estudios de adopción e impacto en pasturas tropicales. Memorias del Taller Investigación con Pasturas en Fincas. Séptima Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Documento de trabajo no. 124. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Vera, R. y Seré, C. (eds.). 1985. Sistemas de producción pecuaria extensiva: Brasil, Colombia, Venezuela. Estudio Técnico Económico de Sistemas de Producción. Proyecto ETES, Informe final. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

La Adopción de *Calliandra calothyrsus* en Embu, Kenia: Efecto en la Producción de Leche y en el Ingreso Familiar

S. Franzel, H. Arimi, J. Karanja y F. Muthiri*

Resumen

El distrito de Embu está localizado en la región cafetera de Kenia. Se extiende entre 1300 y 1800 m.s.n.m., con una precipitación entre 1200 y 1500 mm. En esta zona, el promedio de las explotaciones agrícolas es de 1.5 ha y el rango varía entre 0.4 a 4 ha. Cerca del 90% de los productores poseen vacas lecheras, además de caprinos y aves, que mantienen en sistemas estabulados o de mínimo pastoreo. La leche tiene alta demanda y se produce para consumo y para venta en el mercado local o a través de la Cooperativa de Lecheros de Kenia. El tamaño promedio del hato es de dos unidades animales por productor. Una fuente importante de forraje para alimentación de los animales en la zona es la leguminosa arbustiva *Calliandra calothyrsus*, que se cultiva en cercas vivas alrededor de las fincas, a lo largo de líneas de contorno y bordes de terrazas en laderas asociada con pasto napier (elefante) y entre los árboles que normalmente crecen a lo largo de linderos. En abril de 1995 se realizaron entrevistas informales con productores seleccionados entre 93 que habían probado *Calliandra*, con el fin de comprender los aspectos relacionados con su adopción. El promedio de árboles por productor era de 166, lo cual significó un aumento de más de 2.5 veces en relación con los existentes en 1992. En las primeras siembras, el método más común fue el de plántulas establecidas en macetas, pero a partir de la tercera siembra las plántulas se cultivaron en vivero. A mediados de 1995, el 36% de los productores habían establecido viveros de *Calliandra* y tres cuartas partes de ellos lo habían hecho con semillas producidas por sus propios árboles. El 91% de los productores utilizaba la leguminosa para alimentar vacas lecheras, el 47% para caprinos y el 42% para novillas. Al igual que el concentrado comercial, *Calliandra* era suministrada a los animales al momento del ordeño. El 62% de los productores utilizaba *Calliandra* como un suplemento al concentrado y 27% utilizaba esta leguminosa como un sustituto completo del concentrado y 10% como un sustituto parcial. Ochenta y ocho por ciento de los productores consideró que *Calliandra* aumentaba la producción de leche y 89% la consideró como altamente palatable para sus vacas. En general, el análisis de sensibilidad sugiere que los beneficios netos de la utilización de *Calliandra* como suplemento o sustituto son bastante estables. A pesar del rango de situaciones negativas probadas en el análisis, el valor presente neto y los beneficios netos permanecieron positivos.

* Respectivamente: Investigadores, International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF); Ministry of Agriculture, Livestock Dev., and Mktg., Kenia; y Kenya Agricultural Research Institute.

Introducción

La introducción de leguminosas arbustivas forrajeras para mejorar la productividad de la ganadería en fincas de pequeños agricultores de África ha recibido considerable atención en años recientes. Desde hace varios años se reconoce que la baja calidad de los recursos forrajeros es un limitante importante para aumentar la productividad de la explotación pecuaria en la región. Recientemente ha aumentado el interés en la explotación de árboles forrajeros, debido a: (1) los resultados alcanzados con leguminosas forrajeras en sistemas de producción con pequeños agricultores de África no han sido satisfactorios (Thomas y Sumberg 1995), lo que ha incentivado el interés por otras fuentes de proteína; (2) la popularidad creciente de la agroforestería está promoviendo la investigación y las actividades de extensión dirigidas hacia la integración de árboles forrajeros en sistemas agrícolas; y (3) las amplias evidencias que indican que las leguminosas arbustivas son un componente importante de los sistemas autóctonos de producción pecuaria en todo el mundo (Gutteridge y Shelton, 1993). El cultivo de árboles forrajeros se puede considerar como una modificación de los sistemas existentes y no un sistema nuevo; en consecuencia, es difícil introducirle innovaciones.

A pesar de este fuerte interés, una revisión de la literatura reciente no reveló un solo caso de adopción generalizada de árboles forrajeros introducidos por pequeños productores. En varios estudios se discute la investigación a nivel de finca con estos árboles, pero no se indica si los agricultores adoptan y amplían el uso de esta tecnología después de los ensayos (Reynolds et al., 1991; Jabbar et al., 1996). En este documento se analizan los estados tempranos de adopción de *Calliandra calothyrsus*, una leguminosa forrajera arbórea, por pequeños productores de ganado de leche en las montañas de Kenia Central. Los objetivos son los siguientes:

- Medir la expansión de las plantaciones de *C. calothyrsus* después de los ensayos iniciales y determinar qué características de la finca y del productor se relacionan con dicha expansión.
- Documentar las experiencias de los productores en la evaluación, manejo y uso de esta leguminosa.
- Evaluar el impacto económico de la leguminosa bajo la perspectiva de los productores.
- Proveer información de retorno para investigadores y extensionistas en aquellos temas que es necesario estudiar para mejorar y promover el uso de *C. calothyrsus*.

En este artículo, primero se describe la zona del estudio; a continuación, se resumen las investigaciones sobre el manejo de *C. calothyrsus* como árbol forrajero y como alimento para vacas lecheras, y por último, se describen los métodos de encuesta, los resultados y las conclusiones de dichas investigaciones.

Características de la Zona

La región cafetera de Kenia, localizada en las laderas del país, cubre un área aproximada de 3000 km². Se extiende entre 1300 y 1800 m.s.n.m., con una precipitación entre 1200 y 1500 mm distribuida en forma bimodal entre marzo y junio, y entre octubre y diciembre. En ella predominan los Nitosoles profundos de fertilidad moderada a alta.

El estudio se realizó en el Distrito de Embu, localizado en la región cafetera antes descrita. En esta zona, el promedio de las explotaciones agrícolas es de 1.5 ha y el rango varía entre 0.4 a 4 ha. La mayoría de los productores poseen títulos de sus propiedades, y las fincas familiares están localizadas alrededor de las viviendas, aunque algunos productores también poseen parcelas adicionales más retiradas (Minae et al., 1988).

El cultivo de café es la principal fuente de ingreso de dinero en efectivo y ocupa aproximadamente la tercera parte del área agrícola. Otros cultivos arbóreos importantes incluyen la macadamia para producir nueces y *Grevillea robusta* que se cultiva para leña y madera. Los cultivos alimenticios de subsistencia ocupan 40% del área, siendo los principales maíz y frijol, que se siembran, a menudo, como cultivos asociados; además se encuentran papa, bananos y batatas. Aproximadamente, el 20% del área se encuentra cultivada con pasto napier (*Pennisetum purpureum*) en pequeñas parcelas o en líneas de contorno, el cual se utiliza para alimentar vacas lecheras. La escasez de tierra en la región obliga al cultivo permanente de los campos (Minae et al., 1988).

Cerca del 90% de los productores posee vacas lecheras mejoradas, además de caprinos y aves, que mantienen en sistemas estabulados o de mínimo pastoreo. La leche tiene alta demanda y se produce para consumo y para venta en el mercado local o a través de la Cooperativa de Lecheros de Kenia, que tiene centros de adquisición en toda el área. Otro producto importante de la industria lechera es el abono orgánico. El tamaño promedio del hato es de dos unidades animales por productor.

La principal fuente de forraje para las vacas lecheras es el pasto napier, el cual se suplementa durante la estación seca con residuos de cultivos de maíz, forraje del frijol, y hojas y pseudotallos de banano (Abate et al., 1992). Cuando esta gramínea es de buena calidad puede mantener rendimientos de leche de 7 kg/día (NDDP, 1990), pero durante la estación seca este potencial de producción se reduce, por la disminución en la calidad de la gramínea y de los suplementos. Sin lugar a dudas, la escasez de forraje, particularmente durante la estación seca, es el problema más importante que afecta a los productores en las zonas de ladera de Kenia que tienen una distribución bimodal de la precipitación (Minae y Akyeampong, 1988). Las leguminosas herbáceas no han sido

ampliamente adoptadas, debido, quizás, a la incapacidad de los productores para establecerlas en asociación con el pasto napier (Paterson et al., 1996).

Muchos productores compran concentrados comerciales (16% de PC) para suplementar la dieta basal de forrajes. Aunque el servicio de extensión recomienda el suministro diario de 4 kg del producto, se usan cantidades considerablemente menores. Entre las razones para esta baja utilización se mencionan la relación poco favorable entre los precios de la leche y el concentrado, el valor nutritivo altamente variable de éste, la dificultad para el transporte de insumos y la falta de recursos económicos.

Investigaciones sobre el Manejo de *Calliandra*

Las investigaciones con *Calliandra* en África Oriental se iniciaron en la década de los 80, cuando se consideró que esta leguminosa arbórea era un suplemento potencialmente importante para aumentar la producción de leche durante las épocas de escasez de forraje. Debido al tamaño limitado de las fincas en las laderas de Kenia Central, los investigadores y productores se han concentrado en la integración de esta leguminosa en los sistemas agrícolas existentes y no en la siembra en monocultivo para banco de proteína. Paterson et al. (1995) identificaron los siguientes nichos de cultivo de *Calliandra*:

- Cercas vivas alrededor de las fincas. Son comunes en las fincas de Kenia Central, donde se establecen con especies improproductivas sin valor forrajero para evitar la invasión de los vacunos que se encuentran a libre pastoreo. Pero, actualmente, el ganado se confina y existe un gran potencial para reemplazar las especies improproductivas por arbustos forrajeros (Thijssen et al., 1993).
- A lo largo de líneas de contorno y bordes de terrazas en laderas. En estos sitios,

las leguminosas arbustivas ayudan a conservar el suelo y tienen poco efecto sobre los cultivos vecinos.

- Asociada con pasto napier (elefante). Las plántulas de *Calliandra* pueden introducirse entre las hileras de esta gramínea (NARP, 1993), sin afectar sus rendimientos (Paterson et al., 1995).
- Entre los árboles que normalmente crecen a lo largo de linderos. El crecimiento de árboles forrajeros es poco afectado por las especies más altas, como *Grevillea robusta*, cuando se siembran en la misma línea (NARP, 1993).

Las podas poco frecuentes y la altura de corte adecuada favorecen la mayor producción de biomasa aérea de *Calliandra*, pero con estas prácticas de manejo el rendimiento de los cultivos adyacentes es afectado en forma negativa (ICRAF, 1992). El manejo que resulta en las mayores producciones de forraje es aquel que incluye entre cuatro y seis podas por año, entre 0.6 m y 1 m de altura sobre el suelo. Con este manejo es posible producir anualmente 1.5 kg de MS por árbol en siembras de 2 árboles/m (1 árbol cada 0.5 m) como cercas vivas en condiciones de finca. Por tanto, considerando un suministro diario de 2 kg de MS y 0.6 kg de PC se necesitarían, aproximadamente, 500 árboles para alimentar una vaca durante todo el año. Una finca típica de 1.5 ha tendría disponible 700 m de cerca periférica, 200 m de bordes de terrazas y nichos adicionales alrededor de la casa para siembra de pasto napier. Para establecer 1000 árboles de *Calliandra* se necesitarían 500 m de cercas vivas, suficientes para alimentar dos vacas lecheras (Paterson et al., 1995).

Los ensayos de alimentación a nivel de finca han confirmado la efectividad de *Calliandra* como suplemento de la dieta basal o sustituto del concentrado comercial. Los análisis indican que 1 kg de MS de esta leguminosa (24% de PC y 60% de digestibilidad) cuando se suministra como alimento fresco) tiene la misma cantidad de proteína digestible que 1 kg del concentrado

comercial (16% de PC y 80% de digestibilidad) (Paterson et al., 1996). Cada uno de estos alimentos incrementa la producción diaria de leche en aproximadamente 0.75 kg en explotaciones a nivel de finca (Paterson et al., 1995). Además se encontró que los efectos de la leguminosa y el concentrado son aditivos, lo que sugiere que son intercambiables desde el punto de vista nutricional (Paterson et al., 1995).

Metodología

En abril de 1995 se realizaron entrevistas informales con seis productores que habían probado *Calliandra*, con el fin de comprender los aspectos relacionados con la adopción y formular algunas hipótesis sobre este proceso. Para diseñar la encuesta formal se elaboró un listado de productores que antes de 1993 habían recibido plántulas de la leguminosa. Ese año se escogió como límite para asegurar que los productores seleccionados ya tenían, por lo menos, 2 años de experiencia con el cultivo y 1 año con el uso de *Calliandra* como alimento para sus vacas. En ese listado se incluyeron:

- Sesenta y cuatro productores que habían participado hasta 1993 en los ensayos con *Calliandra* a nivel de finca, desarrollados por el Proyecto Nacional de Investigación en Agroforestería (NARP, por su sigla en inglés), incluyendo algunos de ellos que se habían retirado del Proyecto.
- Diez y nueve productores que habían recibido plántulas del Proyecto Nacional de Desarrollo Lechero (NDDP, por su sigla en inglés). Desafortunadamente, en este caso no fue posible conseguir el listado completo de los productores beneficiados; por lo tanto, es probable que la información del personal de extensión esté sesgada hacia los productores adoptadores.

El contacto permanente con los adoptadores, a veces, puede afectar los resultados de la evaluación de adopción de tecnologías a nivel de finca; no obstante, en

este caso se considera que esto no ocurrió, ya que los productores no recibieron incentivos diferentes de las semillas y las plántulas. Aunque todos recibieron asesoría, la falta de información acerca de *Calliandra* fue un problema importante, como lo muestran los resultados de las encuestas. El contacto con los investigadores y extensionistas fue variable; aproximadamente, la mitad de los productores había completado sus ensayos en 1993 y posteriormente tuvieron poca o ninguna relación con los investigadores. Cerca de un tercio participó en ensayos a nivel de finca durante 1994 y 1995 y, por tanto, habían mantenido nuevos contactos con los investigadores. El NDDP se terminó en 1994 y, en consecuencia, los productores no volvieron a tener asesoría de este Proyecto.

A mediados de 1995, los autores entrevistaron 45 productores entre aquellos que aparecían en los listados. Además, se visitaron tres productores que habían obtenido semilla de sus vecinos para conocer sus experiencias con *Calliandra*.

Para el análisis económico se utilizó el método del presupuesto parcial. Este método es una técnica para evaluar los beneficios y costos de una práctica en relación con el no uso de dicha práctica. Por tanto, se consideran solamente aquellos cambios en costos y retornos que resultan directamente de utilizar la nueva práctica (Upton, 1979). Los presupuestos parciales formulados en este documento muestran los efectos en el ingreso neto bajo dos escenarios diferentes: (1) utilizando *Calliandra* como un suplemento a la dieta normal, y (2) como un sustituto del concentrado comercial. El análisis básico supone una finca de 1.5 ha con 500 árboles de la leguminosa y una vaca lechera alimentada en estabulación por un período de 5 años. Dos terceras partes de los árboles se establecen en las cercas externas de la finca y el tercio restante en asociación con pasto napier en un área de 0.3 ha. Los beneficios incluidos en el análisis son el efecto de *Calliandra* sobre la producción de leche (en el caso de la suplementación) y el

ahorro de dinero en efectivo y los intereses respectivos por la sustitución del concentrado (en el caso de la sustitución). Los costos están representados por las plántulas y la mano de obra para la siembra, la cosecha y el suministro de *Calliandra*. Los coeficientes, precios y fuentes de datos utilizados en el análisis económico se incluyen en Cuadro 1.

Resultados

Características de las fincas y de los hogares

En la mayoría de los hogares (91%), el jefe era el hombre y en el 9% restante lo era la mujer. El 48% de ellos tenía una edad entre 30 y 55 años, el 36% eran mayores de 55 años y el 16% restante eran jóvenes. Ochenta y nueve por ciento de las mujeres y 77% de los hombres trabajaban tiempo completo en la finca. Más de la mitad (55%) fueron considerados como productores con altos ingresos, 38% con ingresos medios y 7% con bajos ingresos.

El promedio del tamaño de las explotaciones agrícolas era de 2.3 ± 1.6 ha, de las cuales 1.8 ha estaban localizadas alrededor de la vivienda y el área restante se encontraba más retirada. Las principales actividades, según los mismos productores, eran la lechería y los cultivos de café, té y maíz. Noventa y seis por ciento de ellos tenía vacas lecheras, siendo el promedio 1.9 vacas por finca. Sesenta por ciento tenía novillas, 47% tenía toros o novillos y 53% tenía terneros. Cincuenta y ocho por ciento poseía, en promedio, 2.3 caprinos y el 27% tenía ovinos. Ochenta y cinco por ciento de los productores poseía aves de corral y el 68% tenía conejos.

Los productores encuestados tenían, posiblemente, un ingreso ligeramente mayor y estaban más orientados hacia la actividad de ganado de leche que el promedio de los productores en el área; igualmente, el tamaño de sus fincas era, aproximadamente, 50% mayor.

Cuadro 1. Coeficientes y precios utilizados en el análisis económico.

Elementos Coeficientes	Valores	Fuentes de datos
Período de análisis	5 años	Supuesto
Período de lactancia	300 días	Supuesto
Alimentaron con <i>Calliandra</i>	365 días	Supuesto
Alimentaron con concentrado	365 días	Supuesto
Cantidad de <i>Calliandra</i> /vaca por día	2 kg MS (6 kg forraje fresco)	Supuesto
Cantidad de concentrado/vaca-día	2 kg	Supuesto
Producción de leche/día por 1 kg de MS de <i>Calliandra</i>	0.75 kg	Paterson et al., 1995
Producción de leche/día por 1 kg de concentrado	0.75 kg	Paterson et al., 1995
Rendimiento anual de biomasa área de <i>Calliandra</i> por árbol	0 kg	Supuesto
Rendimiento anual de biomasa área de <i>Calliandra</i> por árbol. Año 2-5	1.5 kg (seco)	Paterson et al., 1995
Arboles para alimentar 1 vaca por año	487	Calculado
Tasa de supervivencia de árboles	80%	Datos de la encuesta
Mano de obra para siembra de <i>Calliandra</i>	20 árboles/hora	Productores
Mano de obra para corte y alimentación con <i>Calliandra</i>	15 min/día	Productores
Tasa del descuento	20%	
Interés en capital libre por utilización de <i>Calliandra</i> en lugar de concentrado	Capital atado durante un promedio de 2 semanas, tasa de interés anual de 20%	Supuesto
Precios (US\$)*		
Concentrado comercial	0.15/kg	Encuesta del mercado
Transporte de concentrado	0.008/kg	Encuesta del mercado
Costo de 100 plántulas	0.526/100 plántulas	Swinkels, Rob (datos no publicados)
Costo de mano de obra	0.112/hora	Productores
Precio de la leche en finca	0.23/kg	Productores
Costo fijo anualizado para establecer 487 árboles	2.00	Uso de fórmula de recuperación capital ^b (Spencer et al., 1979)

a. US\$1 = 57 Chelines de Kenia. Tasa de cambio, enero-junio de 1996.

b. $K = (rv)/(1-(1-r)^n)$, donde K es el costo anual de usar el servicio, V es el costo original (adquisición) del recurso capital fijo, r es la tasa del descuento y n es la vida esperada del recurso. Este procedimiento permite calcular los costos de depreciación y oportunidad del capital.

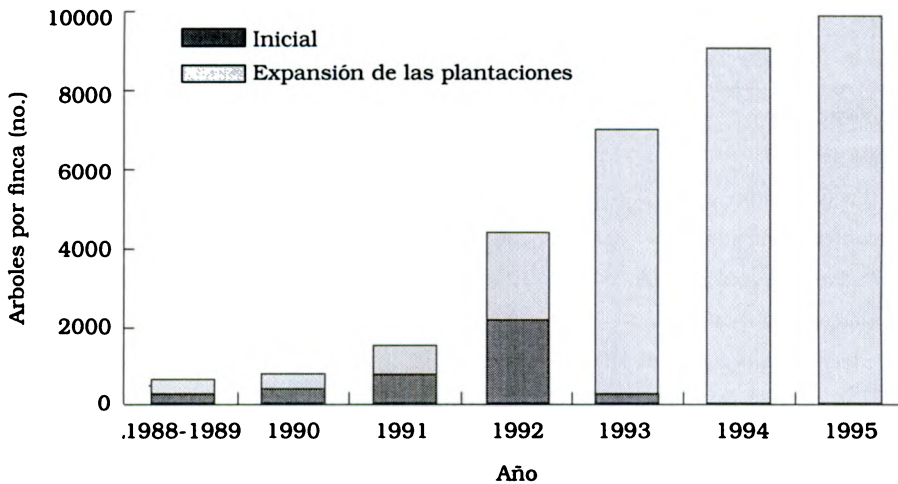


Figura 1. Expansión de las plantaciones de *Calliandra calothyrsus* en 45 fincas del distrito de Embu, Kenia.

Establecimiento y expansión de las plantaciones de *Calliandra*

Las primeras plantaciones de *Calliandra* en las fincas tenían, en promedio, 90 árboles de los cuales sobrevivieron 84. Esta alta tasa de sobrevivencia ($93\% \pm 13\%$) es consistente con los resultados de los ensayos realizados bajo las condiciones normales de manejo en fincas de productores en la misma área (NARP, 1993). El 66% de estos productores participó en ensayos de NARP a nivel de finca. El 20% obtuvo el material de siembra de NDDP y el 13% de otras fuentes. Ochenta por ciento de ellos cultivó plántulas de *Calliandra* en macetas antes de trasplantarlas en el campo, 16% estableció su propio vivero y 4% hizo la siembra en forma directa con semillas. Las siembras se hicieron entre 1988 y 1993, pero más de la mitad de ellas se hizo en 1992 (Figura 1).

Cerca del 80% de los productores amplió sus plantaciones de *Calliandra* después de la primera siembra (Cuadro 2). Más de un tercio de ellos las amplió en dos oportunidades y el 18% lo hizo tres o cuatro

veces. A medida que los productores ampliaron el área, el número de árboles sembrados¹ aumentó, pero las diferencias no fueron significativas debido a la alta variabilidad (Cuadro 2). En las siembras cuarta y quinta, el número de árboles plantados fue 54% mayor que en la primera.

Hasta 1995, el promedio de árboles por productor había aumentado de 84 ± 65 en la primera siembra a 218 ± 225 , con un promedio de 166, lo cual significó un aumento de más de 2.5 veces. El número total de árboles sembrado por los productores en la muestra aumentó de 4000 en 1992 a más de 10,000 en 1995 (Figura 1).

Se encontraron diferencias importantes entre los métodos de siembra y las fuentes del material (Cuadro 3). Mientras que en las dos primeras siembras el método más común fue el de plántulas establecidas en

1. Se tomó en cuenta el número de árboles en desarrollo, ya que la mayoría de los productores no recordaba cuántos había sembrado. En 31 fincas, la tasa de sobrevivencia de los árboles fue de 93%.

Cuadro 2. Expansión de las plantaciones de *Calliandra* y números de árboles por plantación. Distrito Embu, Kenia.

Siembra (número)	Productores (no.)	Arboles por siembra (promedio $\pm$ D.E)
Primera	45 (100%) ^a	84 $\pm$ 65
Segunda	37 (82%)	85 $\pm$ 54
Tercera	16 (36%)	97 $\pm$ 99
Cuarta y quinta	8 (18%)	129 $\pm$ 143

a. Porcentaje en relación con la primera siembra.

macetas que fueron proporcionadas por el Proyecto, a partir de la tercera siembra las plántulas se cultivaron en vivero. Este último sistema y el intercambio de arbustos entre productores reemplazaron la función del Proyecto como principal proveedor de material para siembra. De los 65 casos de expansión, 33 se hicieron con semillas o plántulas obtenidas en el Proyecto y 32 con materiales similares obtenidos en la propia finca o suministrados por productores vecinos. A mediados de 1995, el 36% de los

productores habían establecido viveros de *Calliandra*, y tres cuartas partes de ellos lo habían hecho con semillas producidas por sus propios árboles.

En algunos casos, los nichos donde los productores establecieron *Calliandra* fueron seleccionados por los investigadores. En estos casos, los sitios de siembra más comunes fueron las líneas en contorno (62% de las fincas), en asociación con cultivos alimenticios o café (40%) y en los linderos de las casas (35%) (Cuadro 4). Cuando los productores escogieron los sitios de siembra, prefirieron hacerlo en los linderos de las casas, en los linderos externos de las fincas y en líneas de contorno. Sólo dos productores sembraron *Calliandra* en bancos de proteína, lo que refleja su poca preferencia por el establecimiento de esta leguminosa en parcelas solas.

Aparentemente no existió asociación entre el conocimiento de la leguminosa, las fincas seleccionadas y las características de tenencia de la propiedad, aunque este tipo

Cuadro 3. Métodos y fuentes de material de siembra utilizados en plantaciones sucesivas de *Calliandra*. Distrito Embu, Kenia.

Siembra (número)	Método (% de plantaciones)			Fuente (% de plantaciones)		
	Semilla directa	Vivero	Plántulas de maceta	Donación del Proyecto	Arboles propios	Otro
Primera	4	16	80	87	0	13
Segunda	0	11	89	92	5	3
Tercera	17	44	39	31	42	26
Cuarta y quinta	0	60	40	44	44	11

Cuadro 4. Nichos ecológicos donde los productores del Distrito Embu, Kenia, prefieren establecer *Calliandra*.

Nicho	Todas las plantaciones (% productores)	Plantaciones donde el productor eligió el nicho (% productores)
En líneas en contorno	28 (62%)	8 (18%)
Asociado con cultivos alimenticios o café	18 (40%)	6 (13%)
Lindero de la casa	16 (35%)	11 (24%)
Asociado con pasto napier	15 (33%)	2 (4%)
Lindero externo de la finca	11 (24%)	10 (22%)
Lindero interno de la finca	9 (20%)	6 (13%)

de evaluación fue limitado por el tamaño pequeño de la muestra. Si se considera que un adoptador es aquel que ha ampliado su cultivo por lo menos una vez y que posee más de 100 árboles, se puede considerar que el 73% de los productores fueron adoptadores. No se encontró relación entre grado de adopción, tamaño de la finca, bienestar, tamaño de las fincas vecinas y número de vacas. Se encontró una ligera relación entre la adopción y la edad de los productores; así, seis de siete productores menores de 30 años fueron adoptadores, mientras que sólo nueve entre 15 mayores de 55 años adoptaron la leguminosa. El rango de la actividad lechera dentro de otras actividades se asoció en forma significativa ($P < 0.01$, prueba de ji cuadrado) con el nivel de adopción. A un mayor grado de dedicación a esta actividad correspondió un mayor grado de adopción.

Manejo y usos de *Calliandra*

Los sistemas de poda del cultivo variaron poco, siendo el más común el corte periódico cuando las plantas alcanzaban entre 1 y 1.4 m de altura. El 80% de los productores utilizaba tijeras podadoras similares a las empleadas para podar las plantaciones de café o té. El 13% utilizaba machete, aduciendo que el tallo de las plantas era muy leñoso y no permitía el uso de tijeras. El 9% cosechaba las ramas en forma manual. De estos métodos, el más recomendable es la poda con tijeras, ya que permite un corte limpio y favorece el rebrote sano de las plantas.

Los productores utilizaban *Calliandra* para la alimentación de una variedad amplia de tipos de animales. El 91% de ellos la utilizaba para vacas lecheras, el 47% para caprinos y el 42% para novillas. Entre 5% y 20% alimentaban, por lo menos, un tipo de animal: toros, ovinos, conejos, terneros y aves de corral. El 69% alimentaba vacas en lactancia o secas. La mayoría de los productores picaban las plantas antes de suministrarlas a los animales, tal como se les había recomendado. Más del 90% de los productores combinaba la leguminosa con pasto napier y el 44% de ellos la había

suministrado algunas veces sola. Al igual que el concentrado comercial, *Calliandra* era suministrada a los animales al momento del ordeño para facilitar esta labor.

Sólo un productor suministraba *Calliandra* a sus vacas durante todo el año, mientras que la mayoría alimentaba sus vacas con esta leguminosa durante una tercera parte del tiempo, debido a que la disponibilidad era baja y el crecimiento de las plantas era limitado en las épocas secas. Sólo el 12% de los productores redujo el corte en la época de lluvias, con el fin de aumentar la disponibilidad de forraje en la época seca. Muchos no estaban de acuerdo con esta última estrategia, ya que cuando las plantas no se cosechaban competían con los cultivos cercanos. Desafortunadamente, el forraje de *Calliandra* no puede almacenarse para uso posterior durante la época seca, ya que pierde rápidamente su digestibilidad después del corte. Aparentemente, el 75% de los productores conocía este problema y suministraban el forraje durante la hora siguiente al corte; sin embargo, 18% de ellos lo suministraba entre 3 y 4 h más tarde, cuando la digestibilidad se reducía considerablemente, aduciendo que no conocían el problema.

Ochenta y cuatro por ciento de los productores utilizaba concentrados comerciales en la alimentación de sus animales, aunque muchos no lo hacían en forma continua debido a la falta de dinero. El 62% utilizaba *Calliandra* como un suplemento al concentrado, o sea, no reducían el uso de este último cuando suministraban la leguminosa. Por otra parte, 27% utilizaba esta leguminosa como un sustituto completo del concentrado y 10% como un sustituto parcial. Ochenta y ocho por ciento de los productores sostuvo que *Calliandra* aumentaba la producción de leche y 89% la consideraba como altamente palatable para sus vacas.

Algunos productores mencionaron otros beneficios adicionales del cultivo de *Calliandra*, además del aumento en producción de leche de sus animales. El 24% reconoció beneficios por la producción

de leña, el 13% reconoció el impacto en la conservación de suelos y el 7% mencionó los aumentos en la calidad de la leche y el ahorro de dinero por la sustitución del concentrado. Los únicos aspectos negativos citados fueron la producción estacional (18%), lo que no reduce mucho la productividad y la competencia sobre los cultivos vecinos (7%).

Los productores utilizaban de diferentes maneras la semilla obtenida de los árboles de *Calliandra*. Sólo 40% cosechaba la semilla y las principales razones para no hacerlo fueron la falta de interés y el poco conocimiento acerca de las técnicas de propagación. La tercera parte de ellos había proporcionado semillas a otros productores, y sólo dos habían vendido semillas o plántulas a otros productores. Dos tercios de los productores dejaron algunos árboles con el objeto de producir semillas para distribución.

Los productores que obtuvieron semillas de otros productores las utilizaron de diferentes formas; por ejemplo: dos las utilizaron en 1995 para establecer viveros, uno había trasplantado 67 árboles del vivero a su finca, y otro estaba esperando trasplantar algunas plantas. De la misma forma, un productor adquirió 500 plántulas en 1994 y las plantó en los linderos de su finca; igualmente, adquirió 100 plántulas en 1995 y estableció un vivero en ese mismo año con el fin de producir plántulas que trasplantaría en 1996. La selección de estos productores no se hizo al azar y, por tanto, no se pueden considerar como una muestra representativa; no obstante, sus experiencias indican que existe un amplio potencial para la difusión de *Calliandra* más allá del núcleo de productores originales.

Con el objeto de conservar la diversidad genética es aconsejable mantener en las fincas, por lo menos, 30 árboles de esta especie forrajera. Debido a que la base genética es muy estrecha, la endogamia causaría una disminución significativa en productividad. Cada productor cosecha semilla, en promedio, de 8 árboles, aduciendo que el cultivo de un número

mayor reduce el crecimiento de los cultivos adyacentes.

Noventa y un por ciento de los productores manifestó su interés en aumentar las plantaciones de *Calliandra*. Cuando se les preguntó acerca de las limitaciones para la expansión del cultivo, 19 (42%) sostuvieron que carecían de plántulas. Algunos de estos productores habían recibido dos o más veces plántulas del Proyecto y estaban esperando que éste se las suministrara nuevamente para no tener que hacer su propio vivero; sólo tres indicaron que no conocían las técnicas de propagación del cultivo.

Un hecho inquietante fue que la mayoría de los productores (58%) nunca había visitado a otro productor que cultivaba *Calliandra*. Diecinueve por ciento había visitado a otras fincas donde se cultivaba la leguminosa como parte de giras de extensión, mientras que 14 (34%) lo habían hecho por su propia cuenta.

Análisis Económico

En los Cuadros 5 y 6 se incluyen presupuestos parciales para el uso de *Calliandra* como suplemento para dietas básicas de animales y como sustituto del concentrado comercial. Los costos de establecimiento de 500 árboles, incluyendo la siembra de plántulas, son de US\$6.52, que se pueden considerar moderados. Al inicio del segundo año, el suministro diario de 2 kg de forraje seco de *Calliandra* como un suplemento durante todo el periodo de lactancia, aumenta la producción de leche en aproximadamente 450 kg/año, lo que significa un aumento de 10% sobre la producción de leche sin suplemento de la leguminosa. Los beneficios netos por vaca por año después del primer año son de US\$94.75. Si se consideran los costos de depreciación durante un periodo de 5 años, el beneficio neto anual por vaca es de US\$92.57. El valor presente neto (VPN), asumiendo una tasa de descuento de 20%, es de US\$198.97.

Cuadro 5. Presupuesto básico: Costos y beneficios extras (en US\$) del uso de *Calliandra* como suplemento para la producción de leche en el Distrito Embu, Kenia*.

Año	Elemento	Costo	Elemento	Beneficio	Beneficio neto
1	Plántulas de árboles	3.15	—	0	—
	Mano de obra para siembra	3.37	—	—	—
	Subtotal	6.52	—	—	-6.52
2	Mano de obra para corte y alimentación	10.24	450 kg de leche extra	105.00	94.75

a. Modelo básico: Una finca con 500 árboles y una vaca lechera. La vaca consume una dieta basal de gramíneas napier de 80 kg por día y produce 10 kg de leche/día. Dos tercios de los árboles se siembran en los linderos de la casa y en los externos y un tercio se siembra en líneas de contorno con pasto napier.

Observaciones: Los años entre 3 y 5 son similares al año 2.

El VPN se calculó a la tasa de descuento de 20% = US\$198.97 por año.

El beneficio neto por año después del primer año = US\$94.75.

Beneficio neto anualizado considerando los costos de establecimiento y la depreciación = US\$90.39.

Cuadro 6. Presupuesto básico: Costos y beneficios extras (en US\$) del uso de *Calliandra* como sustituto de concentrado comercial para la producción de leche en el Distrito Embu, Kenia*.

Año	Elemento	Costo	Elemento	Beneficio	Beneficio neto
1	Plántulas	3.15	—	0	—
	Mano de obra para siembra	3.37	—	—	—
	Subtotal	6.52	—	—	-6.52
2	Mano de obra para corte y alimentación	10.24	Costo del concentrado comercial	109.76	—
			Transporte de concentrado	5.51	—
			Interés en capital liberado	0.96	—
			Subtotal	116.22	116.22

a. El modelo básico es igual al del Cuadro 5.

Observaciones: Los años 3 a 5 son similares al año 2.

El VPN se calculó a la tasa de descuento de 20% = US\$221.11 por año.

El beneficio neto por año después del primer año = US\$105.02.

Beneficio neto anualizado considerando los costos de establecimiento y la depreciación = US\$102.84.

En el presupuesto parcial, considerando *Calliandra* como un sustituto del concentrado, se considera que los costos de establecimiento, corte y alimentación son iguales a los del caso anterior. Con el uso de la leguminosa, el productor ahorra el dinero que gastaría en 1 año en la adquisición y transporte de 730 kg de concentrado. Los beneficios netos son ligeramente mayores que en el caso de la suplementación, siendo de US\$105.98

después del primer año. El beneficio neto anualizado es de US\$103.80 por vaca por año. El VPN, asumiendo una tasa de descuento de 20%, es de US\$223.19.

Varios intangibles o beneficios difíciles de medir, así como algunos costos, se omitieron en este análisis. Entre los primeros se encuentran el uso de la planta como leña, en el control de erosión, el uso como cerca viva y ornamental. Los principales costos

que no se tuvieron en cuenta son el de oportunidad de la tierra ocupada por los árboles y el efecto en la reducción de la producción de cultivos adyacentes. Sin embargo, éstos son relativamente bajos, especialmente cuando *Calliandra* reemplaza una cerca viva existente, se siembra entre árboles o cuando se usa como cerca en los linderos de la finca.

Se hizo un análisis de sensibilidad para conocer cómo los cambios en los parámetros clave afectarían los resultados (Cuadro 7). El precio de la leche ha permanecido relativamente estable durante el último año, pero un incremento de 30% en su precio aumentaría 34% el VPN en el escenario del suplemento y una disminución de 30% reduciría en 51% el VPN; no obstante, en este último caso, el uso de *Calliandra* aún sería lucrativo. Los cambios en el precio de la leche no afectarían la rentabilidad en el escenario del sustituto, ya que la producción no cambia.

Un cambio en el precio del concentrado no afecta al uso de *Calliandra* como suplemento. Sin embargo, en el escenario de sustitución, un aumento de 30% del precio del concentrado significa un incremento de 32% en el VPN, mientras que

una reducción de 30% en dicho precio disminuiría en 49% el VPN. Es necesario considerar que el precio del concentrado tiende a aumentar cada año de acuerdo con el precio de los granos.

Una tasa mayor de descuento, por ejemplo, 30% en lugar de 20%, reduciría los beneficios netos del uso de *Calliandra* en ambos escenarios; el VPN descendería 27% en el escenario del suplemento y 23% en el escenario del sustituto. Un aumento de 30% en el costo de la mano de obra, sin embargo, no ocasionaría un efecto significativo y el VPN descendería menos de 5%.

La respuesta en producción de leche al aumentar el suministro de concentrado y *Calliandra* es variable, dependiendo de la condición de las vacas y de la cantidad y calidad de la alimentación básica. Si se asume que 2 kg de concentrado o 1 kg de forraje seco de la leguminosa producen 1 kg de leche en lugar de 0.75 kg, el VPN en el escenario del suplemento aumenta 38%, pero si la producción es sólo de 0.5 kg de leche, el VPN disminuye 38%.

En general, el análisis de sensibilidad sugiere que los beneficios netos de la

Cuadro 7. Análisis de sensibilidad que muestra el efecto de cambios en parámetros clave sobre la rentabilidad de utilización de *Calliandra* en dos formas de uso (en US\$/vaca por año).

	Como complemento		Como sustituto	
	VPN	Beneficio anual	VPN	Beneficio anual
Análisis básico	199	93	223	104
Precio de la leche + 30%	267	124	223	104
Precio de la leche - 30%	131	61	223	104
Precio del concentrado + 30%	199	93	295	137
Precio del concentrado - 30%	199	93	151	71
Tasa de descuento 30%	153	92	224	104
Costo de mano de obra + 30%	191	89	216	100
2 kg de concentrado o 1 kg de MS de <i>Calliandra</i> producen 1 kg de leche	274	128	223	104
2 kg de concentrado o 1 kg de MS de <i>Calliandra</i> producen 0.5 kg de leche	123	58	223	104

utilización de *Calliandra* como suplemento o sustituto son bastante estables. A pesar del rango de situaciones negativas probadas en el análisis anterior, el VPN y los beneficios netos permanecen positivos.

Conclusiones

En este artículo se presentan evidencias que muestran cómo los productores en el Distrito Embu, Kenia, están adoptando *Calliandra* como un árbol forrajero para la alimentación de sus animales. Además, la difusión de semillas entre los productores parece ser clave para la propagación de esta leguminosa. Sin embargo, aún existen varios problemas que limitan el impacto positivo de los árboles forrajeros a nivel de finca y que pueden limitar su adopción, entre ellos:

Aspectos relacionados con extensión

1. Es necesario realizar un mayor esfuerzo en investigación relacionada con la adopción y adaptación de *Calliandra*. Actualmente se le presta muy poca atención al uso de árboles forrajeros en zonas diferentes al Distrito Embu, o en áreas de laderas de África Oriental. Se requiere una coalición de entidades que involucre organismos de investigación y extensión, organizaciones no gubernamentales y productores, con el fin de movilizar el material y promover el uso de dichos árboles.
2. Algunos productores que cultivan *Calliandra* carecen de información sobre aspectos clave de su manejo. Por ejemplo, cerca de 18% de ellos suministraba el forraje después de 3 ó 4 horas del corte, cuando su digestibilidad se había reducido notoriamente; y el 20% no tenía información sobre la forma de propagación de la planta.

Muchos de los productores participantes en la encuesta habían conducido

ensayos a nivel de finca y disponían de suficiente información por parte de investigadores y extensionistas. Es probable que los adoptadores de la segunda generación, quienes obtuvieron semillas de los productores encuestados, dispongan de menos conocimientos acerca del cultivo de *Calliandra*. Actualmente no existen boletines de extensión o información escrita disponibles para los productores y relacionados con este cultivo. Tal información debe producirse en inglés y en Swahili.

3. La mayoría de los productores no había visitado a otro que cultivaba *Calliandra*; por tanto, sus conocimientos se limitaban a sus propias experiencias y a la información limitada que recibían de los investigadores y de los extensionistas. Es difícil evaluar el efecto de esta forrajera sobre la producción de leche, especialmente cuando el número de árboles es tan pequeño. Las visitas entre productores puede ayudar grandemente a promover la adopción. En particular, los productores deben visitar aquellos que poseen un número grande de árboles para observar y discutir la forma de manejo.
4. Algunos productores (aproximadamente 20%) demoraban la cosecha y la siembra de su propia semilla esperando obtener en forma gratuita plántulas de parte los investigadores y de los proyectos de extensión. Aunque el suministro de plántulas en forma gratuita es un medio importante para introducir especies nuevas, se debe motivar a los productores para que establezcan sus propios viveros, y no dependan de proyectos para la entrega de plántulas.
5. Para asegurar el desarrollo de una amplia base genética de *Calliandra*, cada productor debería cosechar semillas de un alto número de árboles, aproximadamente 30. En este sentido, los extensionistas deben explicarle a los productores la lógica de esta estrategia.

Temas para investigación

1. Es necesario investigar en otras especies arbustivas, con el objeto de que el productor no dependa de una sola especie. En Embu se introdujeron, al mismo tiempo que *Calliandra*, dos especies, pero no fueron adoptadas —*Sesbania sesban* no persistió después de cosechas sucesiva y *Leucaena leucocephala* fue atacado por psyllids (*Heteropsylla cubana*). Actualmente se trabaja en la identificación de especies nuevas, especialmente autóctonas (NARP, 1995).
2. Es necesario establecer una red de investigación con productores. Durante la encuesta presentada en este documento, se observó un alto número de experimentos con productores. Por ejemplo, varios de ellos estaban experimentando en el efecto de diferentes alturas de corte, en la sustitución de concentrado comercial por *Calliandra* y en métodos de establecimiento. Con el trabajo conjunto de productores e investigadores se podrían utilizar replicaciones en fincas y sería más fácil medir los avances de las investigaciones.
3. Se requiere más investigación para conocer las limitaciones de *Calliandra* y para incentivar su multiplicación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a J. Curry, P. Mwangi, P. Ongugo, M. O'Neil, R. Roothaert, R. Paterson y M. Soulelas las observaciones y la colaboración prestada para la conducción de la presente investigación.

Referencias

Abate, A.; Dzowela, B. H.; y Kategile, J. A. 1992. Intensive animal feeding practices for optimum feed utilization. En: Kategile, J. A. y Mubi, S. (eds.). Future of livestock industries in East and Southern Africa. Proceedings of a workshop held at Kadoma Ranch, Zimbabwe, July 1992. International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Etiopía. p. 9-19.

Gutteridge, R. C. y Shelton, H. M. 1993. The scope and potential of tree legumes in agroforestry. *Agroforestry Syst.* 23(2-3):177-194.

ICRAF (International Centre for Research in Agroforestry). 1991. Annual Report. Nairobi, Kenia.

Jabbar, M. A.; Larbi, A.; y Reynolds, L. 1996. Alley farming for improving small ruminant productivity in west Africa: ILRI's experiences. Socioeconomics and Policy Research Working Paper no. 20. International Livestock Research Institute (ILRI), Addis Ababa, Etiopía.

Minae, S. y Akyeampong, E. 1988. Agroforestry potentials for the land use systems in the bimodal highlands of Eastern Africa. Kenya. AFRENA Report no. 3. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenia.

Minae, S. E.; Kaumi, S.; Avila, M.; Okorio, J.; Kaboneka, S.; y Ghahamanyi, A. 1988. Agroforestry research project proposal for the coffee based system in the bimodal highlands, Central and Eastern Provinces, Kenya. AFRENA Report no. 16. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenia.

NARP (National Agroforestry Research Project). 1993. KARI Regional Research Centre-Embu. Annual Report: March 1992-April 1993. AFRENA Report no. 69. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenia.

_____. 1995. KARI Regional Research Centre - Embu. Annual Report: March 1994-March 1995. AFRENA Report no. 92. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenia.

NDDP (National Dairy Development Project). 1990. Naivasha-dairy report. Nairobi. Development Program. Nairobi, Kenia.

Paterson, R. T.; Kiruiro, E.; y Arimi, H. K. s.f. The use of *Calliandra calothyrsus* for milk production. (Manuscrito sin publicar.)

_____. Roothaert, R.; y Kariuki, I. W. 1996. Fodder trees in agroforestry: The Kenyan approach. Paper submitted to the First Kenya National Agroforestry Conference, Muguga, Kenya, 25-29 March, 1996.

- _____; Roothaert, O. Z. Nyaata; Akyeampong, E.; y Hove, L. 1995. African experience with *Calliandra calothyrsus* as a feed for livestock. Paper presented at a workshop on *Calliandra calothyrsus*. Bogor, Indonesia.
- Reynolds, L.; Didomenico, C.; Atta-Krah, A. N.; y Cobbina, J. 1991. Alley farming in southwest Nigeria: The role of farming systems research in technology development. En: Tripp, R. (ed.). Planned change in farming systems: Progress in on-farm research. John Wiley & Sons, West Sussex, Inglaterra.
- Spencer, D. S. C.; Byerlee, D.; y Franzel, S. 1979. Annual costs, returns, and seasonal labor requirements for selected farm and non-farm enterprises in rural Sierra Leone. Working Paper no. 27. Department of Agricultural Economics. Michigan State University. East Lansing, Michigan, E.U.
- Swinkels, R. y Franzel, S. 1996. Adoption potential of hedge-row intercropping in the maize-based cropping systems of the highlands of Western Kenya. Part 2: Economic and farmers evaluation. (Manuscrito sin publicar.)
- Thijssen, R.; Murithi, F. M.; y Nyaata, O. Z. 1993. Existing hedges on farms in the coffee based land use system of Embu District, Kenya. AFRENA Report no. 65. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), Nairobi, Kenia.
- Thomas, D. y Sumberg, J. 1995. A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in Sub-Saharan Africa. Agric. Ecosys. Environ. 54:151-163.
- Upton, M. 1987. African farm management. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido.
- Van der Veen, W. 1993. An economic analysis on farms of alley farming with fodder trees on dairy cows in western Kenya. Tesis M.Sc. sin publicar. Wageningen Agricultural University, Department of Agricultural Economics, Países Bajos.

Conclusiones y Recomendaciones de los Grupos de Trabajo

Grupo: Mediciones de respuesta animal

El grupo de trabajo consideró que:

1. La investigación en fincas es indispensable para probar las tecnologías desarrolladas por los investigadores. En este sentido, las fincas ofrecen la oportunidad de someter la tecnología a prueba bajo un sistema de manejo diferente al de la estación experimental, el cual no es controlado por el investigador, quien es generalmente más severo.
2. El trabajo en fincas ofrece la oportunidad de identificar nuevas áreas de investigación a partir de la relación con el productor. En este sentido, el productor debe participar en la identificación de los principales limitantes. Para el éxito del trabajo en fincas, esta aproximación es vital, ya que el productor participa en la decisión de lo que es necesario resolver y no hay una imposición de la nueva tecnología. Si el productor participa en las decisiones sobre qué investigar, estará dispuesto a asumir riesgos, que de otra manera no asumiría.

Consideraciones generales sobre la investigación en fincas

1. Las mediciones deben, en lo posible, abarcar periodos largos de tiempo, para estimar en el largo plazo el efecto de la tecnología que se está probando.
2. Es necesario considerar los aspectos económicos para estimar el impacto de la nueva tecnología a nivel de finca. En este sentido, es necesaria la integración de los economistas al proceso de investigación en fincas.

3. Es importante caracterizar los recursos de la zona —suelos, forrajes, ganado, mercado, precios— para tener una idea del potencial de producción.
4. En las metodologías de investigación se debe tener en cuenta el tamaño de la finca. Existen diferentes conceptos sobre lo que es un productor pequeño, mediano o grande; por tanto, se deben definir parámetros para clasificar los productores según su tamaño.

En la evaluación de nuevos recursos alimenticios se debe generar información para validar, modificar y ajustar modelos de alimentación para el trópico, y crear un archivo de las características nutricionales de los forrajes y suplementos utilizados en el trópico.

Por último, para que la investigación en fincas sea más eficiente, se debe recopilar información que permita medir el impacto de la tecnología antes y después de su implementación.

Recomendaciones metodológicas

Para la evaluación de nuevos recursos alimenticios a nivel de finca, se debe:

1. Reducir las fuentes de variación y aumentar la representatividad de la información generada.
2. Utilizar animales con un genotipo representativo del sistema y adecuado para el sistema global de producción.
3. Asegurar el estado sanitario de los animales y su nutrición mineral, mediante programas de vermifugación, salud reproductiva (control de brucela, leptospirosis, IBR, vibro) y suplementación mineral con macro y micronutrientes.

4. Identificar los animales en forma individual.
5. Utilizar diferentes categorías de animal como indicadores de respuesta a los recursos alimenticios en evaluación. Estas categorías deben concordar con el factor frecuentemente limitante en el desarrollo del sistema, y pueden ser: (1) vacas lactantes, (2) terneros de 0 a 1 año, pre y posdestetos, (3) novillas (hembras de reemplazo).

La información generada permitirá utilizar los nuevos recursos alimenticios en la categoría animal que genere el mayor impacto benéfico en el sistema.

Mediciones sugeridas

1. **En los recursos alimenticios.** Con el objeto de hacer un monitoreo de la oferta de alimentos en el sistema, se propone:
 - Medir la oferta estacional de forraje en cantidad y calidad de las pasturas y su composición botánica (método BOTANAL).
 - Medir la calidad estacional en términos de PC, NDF, DIVMS y cenizas. A nivel de estación experimental, y cuando sea necesario, generar la información requerida por modelos de simulación de alimentación y nutrición; se sugiere medir, además, NDF, lignina, NDF-N, ADF-N; PC soluble.
 - Evaluar la calidad de forrajes y alimentos producidos en la finca (yuca, maíz, caña, etc.) y comprados fuera de ella (melaza, concentrados).
 - Estimar los costos de los recursos alimenticios y utilizados para análisis económico posterior.
2. **En las vacas en producción.**
 - Producción de leche semanal o quincenal y por lactancia; y producción de leche en periodos cortos de ocupación cuando se usan

nuevos recursos alimenticios, previo período de acostumbramiento.

- Generar curvas de lactancia con la información obtenida en el numeral anterior.
- La composición de la leche (grasa es indispensable, y proteína es deseable).
- Leche vendible y residual (consumida por el ternero).

Para evaluar aspectos de reproducción, cuando sea posible, se sugiere medir: (1) intervalo entre partos; y (2) progesterona en leche.

Para evaluar aspectos en los animales asociados con su nutrición, se sugiere medir: (1) cada mes la condición corporal de vacas en producción (escala 1 a 9), y (2) urea en leche cada vez que ocurra un cambio de alimentación.

3. **En los terneros.** Se sugiere medir sobrevivencia, peso al destete, y consumo de leche y suplemento.
4. **En las novillas.** Se sugiere medir la edad y el peso al inicio del levante, edad a la pubertad, edad y peso al servicio, edad y peso al primer parto.

Para estimar los cambios en parámetros de producción a través del tiempo debidos a las nuevas prácticas de manejo y alimentación, se sugiere obtener información sobre intervalo entre partos, producción de leche por lactancia y duración de ésta. En los novillos de levante y ceba se deben estimar la edad y medir el peso al inicio y final del periodo de ceba.

Participantes

C. Sandoval, M. Traxler, J. M. Sánchez, L. Vaccaro, J. Velásquez, S. Guzmán, G. Ruiz, A. Hammond, J. Vela, J. Carulla, M. C. Amézquita, A. Trigueros, R. Blake, A. Escobar, G. Pereyra, I. Matamoros, C. Reyes.

Grupo: Mediciones de adopción y aceptabilidad

El Grupo dividió su trabajo en las áreas:

- Metodología grupal, incluyendo el aporte individual y conceptual sobre el tema.
- Listado de factores limitativos, tales como prácticas de manejo del hato, prácticas de manejo de pasturas y leguminosas asociadas y arbustivas.
- Desarrollo de una matriz sobre el tema de trabajo.
- Propuesta sobre algunas estrategias.
- Sugerencias de implementación.

El Grupo identificó como obstáculos para la adopción y aceptación de nuevas tecnologías por los productores en los factores siguientes:

Transferencia de tecnología.

- Metodología de transferencia inadecuada.
- Deficiente comunicación entre investigadores, extensionistas y productores.
- Falta de un programa de asistencia técnica continuada.

Factores económicos.

- Altos costos de adopción de tecnologías.
- Baja rentabilidad de algunas tecnologías.
- Lentitud en la respuesta biológica y económica de algunas tecnologías.
- Falta de mercados seguros y estables.

Factores sociales.

- Costumbres y tradiciones de los productores.

Factores políticos.

- Políticas gubernamentales inadecuadas.
- Falta de seguridad en los mercados y en la comercialización de productos.

Recomendaciones metodológicas

El Grupo propuso, como estrategias para agilizar el proceso de aceptación y adopción de nuevas tecnologías, las estrategias que aparecen en el Recuadro 1 (ver p. 274).

Participantes

H. Sandoval, A. Anderson, C. L. Velarde, A. Assis, N. Reyes, C. Hidalgo, O. Reynoso, O. Saracho, M. Ruiz, K. Reátegui.

Grupo: Mediciones de indicadores de sostenibilidad física y socioeconómica

El Grupo estuvo de acuerdo con los conceptos y criterios utilizados en la publicación de Müller (1995)¹ para identificar indicadores de sostenibilidad. La metodología propuesta por Müller tiene gran aplicación en Tropileche, ya que se basa en información que permite evaluar la importancia relativa de los indicadores ecológicos, económicos y sociales.

Por otra parte, el grupo consideró que algunas prácticas de alimentación y manejo implementadas a nivel de finca necesitan periodos cortos de tiempo para mostrar sus efectos, mientras que otros requieren de

1. Müller, S. 1995. Evaluating the sustainability of agriculture at different hierarchical levels: A framework for the definition of indicators. Paper prepared for the Scientific Workshop on Indicators of Sustainable Development, Wuppertal, Germany, November 15-17, 1995. GTZ, Alemania.

Recuadro 1. Propuesta para la implementación de estrategias para agilizar el proceso de aceptación y adopción de nuevas tecnologías.

Estrategias	Implementación
Identificación de las limitantes técnicas y socio-económicas regionales relacionadas con las nuevas tecnologías.	1. Complementariedad (metodología participativa). 2. Enfoque de sistemas.
Evaluación técnica y económica ex-ante y ex-post de la tecnología generada.	1. Ex-ante (metodología participativa), simulación. 2. Ex-post (metodología participativa). 3. Enfoque de sistemas.
Utilización de métodos de investigación participativa y seguimiento de las nuevas tecnologías.	Capacitación en métodos de investigación participativa.
Implementación de métodos de difusión y divulgación de las nuevas tecnologías.	• Días de campo • Boletines y circulares • Publicaciones científicas
Identificar las oportunidades en el sector privado que apoyen la adopción de tecnologías y la toma de decisiones.	Establecer alianzas estratégicas con el sector privado que apoyen la difusión de nuevas tecnologías.
Influir la toma de decisiones políticas que favorezcan la adopción de nuevas tecnologías.	• Elaboración de informes técnico-económicos sobre las tecnologías. • Programación de foros sobre el impacto de nuevas tecnologías.

periodos largos; por tanto, será necesario definir indicadores que reflejen cambios en el corto plazo (p. ej., producción de leche) y en el mediano y largo plazo (p. ej., MO en el suelo). Además, se recomendó medir indicadores que indiquen el comportamiento general del sistema doble propósito a nivel de productor y de cuenca.

Recomendaciones metodológicas

El Grupo sugirió los siguientes indicadores de sostenibilidad a nivel de finca:

- **En el animal**

Estructura del hato
Condición corporal
Peso al destete
Producción de leche vendible/vaca por día

Días de lactancia
Intervalo entre partos
Mortalidad

- **En el suelo**

Erosión
Materia orgánica
Macro y microfauna
Cobertura vegetal
Reciclado de nutrimentos (N, P, K)

- **En la vegetación**

Producción estacional de biomasa comestible
Composición botánica
Presión de pastoreo
Carga animal (UA/ha)

El Grupo sugirió los siguientes indicadores, a nivel de cuenca y de región:

- **Población animal**

Animales de cada especie

- **Ecológico**

Tasa de sedimentación de fuentes de agua

Contaminación de aguas

Calidad y disponibilidad de agua

Biodiversidad de fauna y flora

- **Económicos**

Producción y demanda de productos

Centros de acopio y plantas de procesamiento

Garantía de mercadeo

Disponibilidad de crédito

Condición de las vías

- **Sociales**

Migración de la población

Disponibilidad de mano de obra

Forma de tenencia de la tierra

Nivel del ingreso familiar

Población rural

Participantes

B. Rivera, F. Holmann, J. Santos,
P. Argel, R. Obando, S. Fujisaka, T. Fariñas,
S. Franzel, J. Roza, M. Lobo, F. Zelaya,
D. Hess.

Lista de Participantes

Bolivia

Gustavo Pereyra
Centro de Investigación Agrícola Tropical
(CIAT)

Ovidio Saracho
Centro de Investigación Agrícola Tropical
(CIAT)

Brasil

Airdem Gonçalves de Assis
EMBRAPA/CNPGL

Colombia

Urbano Carrillo
Universidad de la Amazonia

Juan Carulla
Facultad de Medicina Veterinaria
Universidad Nacional de Colombia

Silvio Guzmán
CORPOICA, Regional no. 2
Cl. Turipaná

Dieter Hess
CORPOICA, Cl. La Libertad

Bernando Rivera
CORPOICA, Cl. Tibaitatá

Jorge Rosso
Nestlé de Colombia

Jaime E. Velásquez
CORPOICA-Regional Amazonia

Costa Rica

Carlos Hidalgo
Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)

Marco Vinicio Lobo
Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG)

Roberto Obando
Escuela Centroamericana de Ganadería
(ECAG)

Jorge Sánchez
Universidad de Costa Rica

El Salvador

Manuel Alfaro
CENTA

Estados Unidos de América

Robert Blake
Universidad de Cornell

Andrew C. Hammond
USDA, ARS, Brooksville, FL

Othom Reynoso
Universidad de Cornell

Martin Traxler
Universidad de Cornell

Honduras

Isidro Matamoros
Escuela Agrícola Panamericana,
El Zamorano

Kenia

Steve Franzel
ICRAF

México

Andrés Aluja
CEIEGT/FMVZ/UNAM

Simón Anderson
FMVZ-UADY

Carlos Sandoval
FMVZ-UADY

Jorge Santos
FMVZ-UADY

Assefaw Tewolde
UAT

Nicaragua

Tito Fariñas
Proyecto Lechero (DESLECHE)

Nadir Reyes Sánchez
Universidad Nacional Agraria

Manuel Ruiz
IICA-Nicaragua

Hernando Sandoval
INTA/CNIA

Francisco Zelaya
INTA/CNIA

Perú

Carlos León-Velarde
CONDESAN-CIP-CIID

Kenneth Reátegui
CIAT-Pucallpa

César Reyes
IVITA-Pucallpa

Antonio Trigueros
IVITA-Pucallpa

Jorge Vela
INIA-Pucallpa

Venezuela

Tyrone Clavero
Universidad del Zulia

Aquiles Escobar
Universidad Central de Venezuela

Lucía Vaccaro
Universidad Central de Venezuela

CIAT

María Cristina Amézquita
Pedro Argel
Rubén Darío Estrada
Sam Fujisaka
Teresa Gracia
Luis A. Hernández
Federico Holmann
Peter Kerridge
Carlos Lascano
Libardo Rivas
Gustavo Ruiz
José Ignacio Sanz
Raúl Vera

Acrónimos y Abreviaturas

Acrónimos

De términos técnicos

BUN	Indicar metabólico del estado de la proteína y la energía en la sangre
ELISA	Inmuno-absorbancia de enzimas ligadas
IEP	Intervalo entre partos
IPC	Intervalo parto-concepción
IPP	Investigación participativa con productores
MUN	Indicar metabólico del estado de la proteína y la energía en la leche
RIA	Radioinmuno-ensayo o radioinmuno-análisis

De instituciones y términos locales

CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica
CIAL	Comité de Investigación Agrícola Local
CIID	Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Canadá
CONDESAN	Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina, Perú
DAIRYSIM	Modelo que describe la función bio-económica de una finca lechera
EPT	Evaluación Participativa de Tecnología

FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italia
FMVZ	Facultad de Medicina Veterinaria y Producción Animal de la Universidad de Yucatán, México
ICRAF	International Centre for Research in Agroforestry, Kenia
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
ILCA	International Livestock Centre for Africa (actualmente ILRI, Etiopía)
ILRI	International Livestock Research Institute (anteriormente ILCA e ILRAD, Etiopía y Kenia)
IPRA	Investigación participativa con agricultores
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica
NARP	National Agroforestry Research Project, Kenia
NDD	National Dairy Development Program, Kenia
NRC	National Research Council
OIEA	Organización Internacional de Energía Atómica, Argentina
PIB	Producto interno bruto
RISPAL	Red de Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Animal en América Latina
SIM	Sistema integrado de modelación para la planificación y evaluación de opciones de producción agropecuaria
SNIA	Sistema Nacional de Investigación Agropecuaria

Abreviaturas

DIVMS	digestibilidad in vitro de la materia seca
h	hora
ha	hectárea
km	kilómetro
l, lt	litro
m	metro

min	minuto
MS	materia seca
PC	proteína cruda

Notación decimal: cifras decimales con punto (0.69, 15.33); unidades de mil, sin signo hasta 9999 (ej.: 3383), con coma desde 10,000 (ej.: 15,840).

Índice Abreviado de Materias

Pág.

Mediciones en Animales en Fincas con Ganado de Doble Propósito

Variación en la Producción y Composición de la Leche

Fuente de la Información Utilizada en el Análisis	5
Fuentes de Variación en el Análisis	6
Fuentes de Variación en Producción de Leche	6
Frecuencia de Medición de Leche	7
Medición en función de días de pastoreo	7
Fuentes de Variación en Contenido de Grasa en la Leche	8
Fuentes de Variación de Nitrógeno Ureico en Leche (MUN)	9
Frecuencia de Medición de MUN	11
Efecto de Secuencia de Rotación y Ajuste en la Producción de Leche	11
Efecto de la secuencia de rotación	11
Efecto de días de ajuste	12
Recomendaciones Metodológicas	12
Medición de producción de leche	12
Medición de MUN	14

Indicadores en la Sangre y la Leche para Determinar el Estado Nutricional y Reproductivo del Ganado Vacuno

Indicadores Nutricionales	16
Nitrógeno en la sangre (BUN) y en la leche (MUN)	17
Determinación del BUN y el MUN	20
Determinación de otros Metabolitos Sanguíneos	21
Indicadores del Estado Reproductivo	22
Progesterona	22
BUN o MUN altos y disminución en la eficiencia reproductiva	23

Radioinmuno-ensayo de Progesterona para Mejorar la Producción Animal

Principios Básicos del Radioinmuno-ensayo (RIA)	27
Elementos del RIA	28
Sustancia a medir	28
Trazador (antígeno marcado)	28
Anticuerpo	29
Separación de las fracciones unidas y libres	29
Protocolo de Trabajo del RIA de Fase Sólida	29
Control de Calidad del RIA	32
Variación dentro del ensayo	32
Variación entre ensayos	32
Equipo Mínimo Requerido para el RIA de Progesterona	33
Recomendaciones para la Toma y el Procesamiento de Muestras para	
Medición de Progesterona	33
Muestras de leche	33
Muestras de sangre	34
El RIA de Progesterona en Países en Desarrollo	34
Laboratorios de RIA en América Latina	35

	Pág.
Recursos Humanos	36
Programa de Garantía de Calidad del RIA	37
Aplicaciones del RIA de Progesterona	38
Evaluación de Prácticas de Alimentación y Manejo Animal a Través del Comportamiento Reproductivo: Un Enfoque Práctico	41
Mejoramiento del Servicio de Inseminación Artificial	42
Nutrición de la Vaca y Relación Vaca-Ternero	
Limitaciones Nutricionales en Areas Tropicales	46
Variación en el valor nutritivo de los forrajes	46
Producción de Leche con Pastos Tropicales	48
Efectos de la Suplementación en el Ganado Doble Propósito	48
Consumo y digestibilidad	49
Rendimiento y composición de la leche	50
Cambios en peso vivo animal	53
Cambios en peso vivo de terneros	55
Reproducción	55
Efecto del Amamantamiento Restringido en el Desempeño de Vacas de Doble Propósito	55
Efectos sobre la vaca	56
Efecto sobre el ternero	60
Interacción Genotipo:Ambiente en Sistemas de Producción con Bovinos de Doble Propósito	67
Efecto del Grupo Genético sobre la Producción de Leche y Comportamiento Reproductivo en una Finca de Doble Propósito	
Fuentes de Información para el Análisis	82
Metodología de análisis	83
Fuentes de variabilidad	84
Análisis estadístico	84
Importancia relativa de fuentes de variación sobre parámetros de producción animal	85
Análisis de parámetros de producción de leche	86
Análisis de intervalo entre partos y producción de carne	91
Modelos para Optimizar el Uso de Recursos en Fincas de Ganado con Doble Propósito	
Modelación de Sistemas de Producción de Leche	
Componentes y Elementos de los Sistemas de Producción Animal	98
El componente animal: el hato	100
El componente alimentación	100
Componente reproductivo	105
Componente de sanidad	106
Componente económico	107

	Pág.
Modelos de Producción Animal	107
Modelo DAIRYSIM	108
Modelo SIM	110
Uso de Modelos	111
Modelos Económicos de Nivel Agregado	
Modelo de Excedentes Económicos	122
El modelo económico	124
Información técnica y económica	125
Alternativas Agropecuarias en la Región Pacífico Central de Costa Rica	
Estudio de Caso: La Región Pacífico Central de Costa Rica	136
Metodología	136
Parámetros agrícolas y de reforestación	137
Parámetros de manejo animal	137
Parámetros forrajeros	138
Resultados	138
Sin restricciones	139
Con restricción en mano de obra	140
Con restricción en el uso de la tierra	140
Análisis de la Producción Pecuaria	141
Comparación de Sistemas de Producción Utilizando Diferentes Niveles de Tecnología	142
Rentabilidad Marginal de Especies Forrajeras	144
Forrajes Mejorados para la Intensificación de la Producción y la Conservación de los Recursos Naturales	145
Metodologías para Caracterizar el Uso de la Tierra y la Participación de los Productores	
Clasificación de Sistemas de Producción Animal	
Cambios en Retos y Actitudes	154
Propuesta de Clasificación de los Sistemas Pecuarios	156
Clasificación de Sistemas de Producción con Rumiantes en América Latina	156
Limitaciones y Oportunidades	162
Indicadores Económicos y Ambientales en Sistemas de Doble Propósito: Principios para su Selección	
La Sostenibilidad de Sistemas de Producción Agrícola	166
Marco de referencia	166
Los indicadores en los sistemas	167
Criterios para la Selección de Indicadores	170
Elección de Indicadores Agropecuarios para Evaluar Impactos en Sistemas de Producción Agropecuarios	171
Indicadores Sugeridos a Nivel de Finca	172

Metodología para Caracterizar Sistemas de Uso de Tierras

Deforestación	175
Características en Acre, Rondônia y Pucallpa	176

Monitoreo de Sistemas de Producción de Doble Propósito

¿Qué Es Monitoreo y Cuándo Es Necesario?	192
¿Qué se Puede Lograr Mediante el Monitoreo de la Investigación?	193
Cómo Establecer un Sistema de Monitoreo	194
Análisis de Datos de Monitoreo	197
Interfase entre Monitoreo e Investigación Participativa	199
El Monitoreo Como Parte del Programa FMVZ-UADY1	200
Desarrollo del programa	200
Resultados	205

Investigación Participativa con Productores

Participación de los Productores en las Evaluaciones de la Investigación Agropecuaria	214
La Evaluación Participativa de Tecnología (EPT) con Productores y la Gestión de los Comités de Investigación Agrícola Local (CIAL)	216
Evaluación participativa de tecnología (EPT)	216
La Metodología CIAL	229
El diagnóstico participativo	229
La planeación participativa	230
La iniciación del experimento	230
La evaluación participativa	230
La comunicación de resultados	230
Multiplicación de la capacidad para la investigación participativa	230
Diagnóstico Participativo con Productores	231
Diagnóstico participativo sobre sistemas de producción ganadera en la comunidad de San Salvador, Filipinas	232
Características generales de la comunidad San Salvador, Filipinas	232
Problemas de alimento, mecanismos de reproducción y prioridades de investigación	235

Metodologías para la Evaluación de Adopción e Impacto de Pasturas Mejoradas

La Inversión en Pasturas Mejoradas	240
Aspectos Conceptuales en la Evaluación de la Adopción y el Impacto de Tecnologías Agropecuarias	241
Fases de los Procesos de Adopción y Difusión	243
Adopción temprana o aceptabilidad	244
Adopción consolidada	245
Adopción tardía o terminal	245
Consideraciones Metodológicas para el Estudio de la Adopción	245
La persistencia o vida útil	246
La cantidad de semilla comercializada	246
Método de muestreo y confiabilidad estadística	246
Adopción Temprana de A. pinto: El Caso de Colombia	247
Distribución geográfica de las ventas de semilla	248

	Pág.
Fuentes de información de los adoptadores	249
Razones para ensayar con Maní Forrajero	250
Formas de utilización	250
Problemas durante la siembra y el establecimiento	250
Grado de satisfacción de los agricultores adoptadores	251
Expectativas sobre nuevas siembras	251
 La Adopción de <i>Calliandra calothyrsus</i> en Embu, Kenia	
Investigaciones sobre el Manejo de <i>Calliandra</i>	258
Metodología	259
Resultados	260
Características de las fincas y de los hogares	260
Establecimiento y expansión de las plantaciones de <i>Calliandra</i>	262
Manejo y usos de <i>Calliandra</i>	264
Análisis Económico	265
Conclusiones	268
Aspectos relacionados con extensión	268
Temas para investigación	269
 Conclusiones y Recomendaciones de los Grupos de Trabajo	
Grupo: Mediciones de respuesta animal	271
Consideraciones generales sobre la investigación en fincas	271
Recomendaciones metodológicas	271
Mediciones sugeridas	272
Grupo: Mediciones de adopción y aceptabilidad	272
Recomendaciones metodológicas	273
Grupo: Mediciones de indicadores de sostenibilidad física y socioeconómica	273
Recomendaciones metodológicas	274
 Acrónimos y Abreviaturas	
Acrónimos	279
De términos técnicos	279
De instituciones y términos locales	279
Abreviaturas	280

