

Rentabilidad de Sistemas Silvopastoriles con Pequeños Productores de Leche en Costa Rica: Primera Aproximación¹

F. Holmann*, F. Romero*, J. Montenegro*,
C. Chana*, E. Oviedo*, A. Baños**

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate costs and benefits of managing live fences, protein banks (*Erythrina berteroana*) and associations of improved pastures (*Brachiaria brizantha*) with legumes (*Arachis pintoi*) and with lumber trees (*Cordia alliodora*). A representative farm from the humid lowlands of Costa Rica was taken as an example. Data to evaluate agronomic and economic performance came from research carried out at Tropical Agriculture Research and Training Center (CATIE). Partial budgeting procedures were used to evaluate alternatives. The cost of establishing live fences was 54% lower (US\$612 vs. US\$1333/km) than the cost of establishing dead fences. In addition, 1 km of live fence with two annual prunings can incorporate into the soil 453 kg N, 31.2 kg P and 166.2 kg K equivalents, worth a total of US\$348.88 of organic fertilizer and exceeding the cost of labor required for the pruning (four 8-hour days of labor/kilometer/year). In the case of the protein bank, the cost of producing 1 kg CP (dry matter basis) was 750% lower than the cost of 1 kg CP from soybean meal (US\$0.08 vs. US\$0.68/kg). Even though the latter is of higher quality than the former, its cost does not justify the investment, given the fact that about one-third of the protein bank labor requirements can be provided by the family (children and elderly people, normally outside of the formal job market). The costs of establishing improved pastures alone or associated with legumes were very similar (US\$374 vs. US\$379). However, the legume association maintains a higher stocking rate (2.5 AU/ha vs. 2.0 AU/ha) and allows for the production of an additional kg of milk. Planting lumber trees requires an investment of US\$361/ha. Assuming that the lumber price will stay constant into the future, this alternative would generate an annual income of US\$238/ha, which is lower than the benefits from any of the other alternatives studied. However, if the price of lumber continues to increase at the same annual rate as in the past 13 years, this alternative becomes the most profitable. If the farmer's objective is to produce more milk with the lowest initial investment, the first option would be to establish the protein bank and then improve pastures. With the additional income generated from these investments, the next viable option would be to establish lumber trees in association with pastures, as a source of savings for the future.

COMPENDIO

Los objetivos del estudio fueron evaluar los costos y los beneficios del manejo de cercas vivas, bancos de proteína (*Erythrina berteroana*), asociación de pasturas mejoradas (*Brachiaria brizantha*) con leguminosas (*Arachis pintoi*) y con árboles forrajeros (*Cordia alliodora*), tomando como ejemplo una finca representativa del trópico húmedo bajo de Costa Rica. Los datos para evaluar el comportamiento agronómico y económico de estas alternativas provinieron de investigaciones conducidas por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). La metodología para evaluar las diferentes alternativas fue la de presupuestos parciales. El costo de fijar cercas vivas fue 54% menor que el de cercas muertas (US\$612/km vs. US\$1333/km). Adicionalmente, un kilómetro de cerca viva, sometida a dos podas anuales, puede incorporar al suelo el equivalente a 453 kg N, 31.2 kg P y 166.2 kg K, lo que representa un aporte de US\$348.88 en forma de fertilizante orgánico, lo cual excede los gastos de mano de obra (cuatro jornales por kilómetro al año). En el caso del banco de proteína, el costo de un kilogramo de proteína cruda (PC) base seca proveniente del banco fue 750% menor que el costo de 1 kg de PC de harina de soja (US\$0.08 vs. US\$0.68/kg). A pesar que la proteína de la soja es de mejor calidad que la producida por leguminosas arbóreas, su costo no justifica la inversión, ya que la mano de obra requerida para manejar el banco representa la tercera parte de los costos anuales y, en gran medida, ésta puede ser aportada por niños o adultos de edad avanzada, quienes normalmente se encuentran fuera del mercado de trabajo. Los costos de establecimiento de una hectárea de pasturas mejoradas, solas o en asociación con leguminosas, fueron similares (US\$374 vs. US\$379). Sin embargo, la asociación mantiene una carga animal mayor (2.5 vs. 2.0 unidades animales por hectárea [UA/ha]) y genera un kilogramo adicional de leche por día. La alternativa de sembrar árboles maderables requiere una inversión de US\$361 por hectárea, considerando que el precio de la madera se mantiene constante a través del tiempo. Esta alternativa generaría un beneficio equivalente anual de US\$238 por hectárea, inferior a cualquiera de las alternativas evaluadas. Sin embargo, si el precio de la madera aumenta a igual tasa que durante los últimos 13 años, esta alternativa sería la más rentable. Si el objetivo del productor es producir más leche con la menor inversión inicial, la mejor opción sería establecer el banco de proteína para, luego, establecer pasturas mejoradas. Con el incremento en los ingresos, producidos por estas actividades, la opción siguiente sería establecer árboles maderables en potreros.

Palabras claves: *Erythrina berteroana*, cercas vivas, banco de proteína, lechería tropical, trópico húmedo.

¹ Recibido para publicación el 10 de mayo de 1993

* Proyecto Sistemas Silvopastoriles. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba 7170. C.R.

** Facultad de Veterinaria, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.

INTRODUCCION

El modelo de desarrollo ganadero empleado en Costa Rica durante la década de 1970-1979 y principios de la de 1980-1989 fue acompañado

por incentivos gubernamentales, tendientes a generar divisas por la exportación de carne y la sustitución de importaciones de leche. Estos incentivos se dieron a través de crédito subsidiado, precios de leche por encima del mercado internacional e inversiones en infraestructura (carreteras, energía eléctrica) financiadas con fondos públicos (10).

Entre 1980 y 1989, Costa Rica alcanzó autosuficiencia en producción de leche, generando incluso pequeños excedentes que se exportaron a la región centroamericana y el Caribe en forma de leche UHT (pasteurizada con el proceso *ultra high temperature*). Por otro lado, desde 1984, Costa Rica eliminó los créditos subsidiados. Paralelamente, el precio internacional de la carne ha bajado sistemáticamente, como consecuencia de cambios en los hábitos de consumo en los Estados Unidos de América (10).

Los incrementos en la producción bovina, obtenidos durante las últimas décadas, se debieron principalmente a una expansión en el área de pasturas y no a una intensificación de los sistemas de producción (4, 5). Esta expansión se dio, en muchos casos, en suelos muy

pobres que se han venido degradando con el tiempo y que, acompañado a los incentivos gubernamentales anteriormente señalados, agotaron este modelo de desarrollo, y llegaron a un punto de conflicto con la conservación de recursos naturales. Sólo en la década comprendida entre 1980 y 1989, Costa Rica tuvo una tasa de deforestación en promedio de 500 km² anuales, lo que significa que en los últimos 10 años se deforestó el 10% del territorio nacional (9).

Todo lo anterior pone de manifiesto la necesidad de evaluar nuevas alternativas de producción y de aplicar modelos de desarrollo apropiados a una economía sin subsidios, que combinen mayor productividad con la sostenibilidad de los ecosistemas existentes.

En este sentido, los sistemas silvopastoriles –asociación de árboles en sistemas de producción animal– podrían desempeñar un papel importante en elevar los ingresos del productor, por medio de la incorporación de árboles de uso múltiple (leguminosas, maderables y frutales) en pasturas, cercas, bancos de proteína o reservas forestales. Por otro lado, el CATIE, con financiamiento del Centro Internacional de Investigaciones

Cuadro 1. Parámetros productivos de 22 fincas y de una seleccionada en el trópico húmedo bajo de Costa Rica.

	Encuesta ¹ (n = 22)		Finca seleccionada
Área de pasto (ha)	14.0	(12.0)	15.0
Potreros (núm)	3.6	(2.2)	3.0
Carga animal (UA/ha)	1.2	(0.5)	1.1
Inventario del hato (cabezas)			
– Vacas	9.6	(5.4)	10.0
– Vaquillas 1-3 años	5.7	(7.8)	5.0
– Terneras(os) 0-1 año	6.3	(6.1)	8.0
– Toros	0.8	(0.7)	0.0
Producción de leche (kg)			
– Vaca/d	4.2	(1.5)	5.0
– Total/d	25.9	(19.6)	30.0
Promedio de vacas en ordeño	6.1	(4.2)	6.0
Especies de pasto (ha)			
– Ratana (<i>Ischaemum indicum</i>)	10.1	(10.9)	15.0
– Otros	3.9	(9.9)	0.0
Cercas vivas existentes (km)	2.1	(1.1)	2.0

1 En paréntesis las desviaciones estándar.

Fuente: CATIE (7)

para el Desarrollo (CIID), ha realizado una investigación básica y aplicada en sistemas silvopastoriles para el trópico húmedo durante los últimos seis años, por lo que ya se cuenta con una base técnica para el diseño de sistemas silvopastoriles

Este estudio se realizó con el objetivo de evaluar los costos y beneficios de manejar cercas vivas, bancos de proteína, asociaciones de pasturas mejoradas con leguminosas y asociaciones de árboles maderables con pasturas, con base en los resultados generados por CATIE.

MATERIALES Y METODOS

Se tomó como ejemplo una finca representativa del trópico húmedo bajo de Costa Rica, identificada como tal con base en una encuesta realizada por el proyecto en la ecozona de Guápiles (7). Esta zona, localizada a 150 msnm, tiene una precipitación anual de 4000 mm, distribuidos durante todo el año y una temperatura promedio de 26°C. Los cuadros 1 y 2 contienen la descripción de las fincas encuestadas en la zona y de la unidad productiva seleccionada como representativa.

Los datos para evaluar el comportamiento agronómico y económico –producción de biomasa comestible y costos de producción– de leguminosas arbóreas, pasturas y árboles maderables provinieron de

investigaciones realizadas por CATIE (2, 3, 6, 7, 8, 12, 13). Para evaluar las diferentes alternativas se utilizó la metodología de presupuesto parcial.

La estrategia de este estudio consistió en utilizar la finca seleccionada como base inicial, tomando como premisa que el objetivo del productor es mantener el mismo número de vacas en ordeño. Con base en lo anterior se realizó la evaluación de las siguientes alternativas: 1) cerca viva de poró (*E. berteroaana*); 2) banco de proteína de poró con "ratana" (*Ischaemum indicum*); 3) establecimiento de *B. brizantha* asociada con *A. pintoi* y 4) asociación de laurel (*C. alliodora*) con pasturas.

Debido a la falta de información con respecto a las interacciones entre dos o más de estas alternativas sobre la producción de leche, éstas se evaluaron en forma independiente – efecto parcial de cada alternativa sobre la finca base. Asimismo se trató de establecer un nivel jerárquico de mayor a menor ingreso adicional obtenido de la inversión en cada una de ellas.

RESULTADOS

Cercas vivas

Como se observa en el Cuadro 1, la utilización de cercas vivas es una práctica ya establecida en la región. A juzgar por el tamaño promedio de las fincas (15 ha),

Cuadro 2. Utilización de mano de obra e ingresos en 22 fincas y en una seleccionada, localizadas en el trópico húmedo bajo de Costa Rica.

		Encuesta ¹ (n = 22)	Finca seleccionada
Mano de obra (jornales por día)	1.0	(0.0)	1.0
Ingreso bruto (US\$/a)			
– Leche	2 744.0	(2 069.0)	3 175.0
– Carne	1 000.0	(1 698.0)	650.0
– Total	3 744.0	(2 741.0)	3 825.0
Ingreso neto (US\$/a ²)			
– Total	190.0	(138.7)	271.0
– Hectárea	13.6	(9.9)	18.1
Ingreso neto (US\$/a ³)			
– Total	3 033.4	(2 208.1)	3 114.4
– Hectárea	216.7	(158.2)	207.6

1 En paréntesis, las desviaciones estándar.

2 Cargando costo de mano de obra familiar, valorada como salario mínimo (US\$ 7.79/d).

3 Sin incluir costo de mano de obra familiar.

Fuente: CATIE (7).

la mayoría de las divisiones están establecidas con cercas vivas. En el Cuadro 3 se presentan los costos de fijación y mantenimiento de un kilómetro de cerca viva de poró, en comparación con la fijación de una cerca muerta, en condiciones típicas de la zona.

La decisión de los productores de utilizar cercas vivas es lógica, ya que el costo de establecimiento por kilómetro es 54% menor (US\$612 vs. US\$1333/km) en relación con las cercas muertas. Además existe la posibilidad de llegar a reemplazar totalmente el alambre de púas por medio de un incremento en la densidad de postes vivos en la cerca, reduciendo la distancia entre árboles de 1.33 m (750 árboles/km) a 0.25 m (4000 árboles/km), con el mismo material producido por la cerca en podas subsiguientes. Como práctica rutinaria, las cercas vivas son podadas cada seis meses para obtener estacones para cercas. El resto de la biomasa producida queda en el campo. El material comestible es utilizado por los animales quedando el residuo en el suelo para su descomposición.

En el Cuadro 4 se presenta la producción esperada de biomasa y la evaluación agronómica del poró como cerca viva, obtenida durante un período de cuatro años. Con base en la producción de los últimos dos años, y según datos de Bronstein (3), un kilómetro de cerca viva podría incorporarse al suelo 453 kg N, 31.2 kg P y 166.2 kg K, en caso que los animales no consuman el material comestible.

En 1991, el costo del N, P y K, según datos proporcionados por Fertilizantes de Costa Rica S.A. (FERTICA), era de US\$0.58/kg, US\$0.63/kg y US\$0.40/kg, respectivamente; lo que representa un aporte de US\$262.74 N, US\$19.66 P y US\$66.48 K para una contribución total de US\$348.88 en forma de fertilizante orgánico. El costo de poda por kilómetro equivale a cuatro jornales anuales (US\$31.16, Cuadro 3). Si se carga este costo al fertilizante que la cerca incorpora al suelo, se obtendría un beneficio neto de \$317.72/km/año. Sin embargo, este beneficio se limita únicamente a lo largo del perímetro de la cerca con bajo aprovechamiento de este aporte por las pasturas. Otra práctica común es utilizar el material podado como alimento animal ofrecido *in situ*. Esta práctica será evaluada en detalle cuando se considere el uso del banco de proteína bajo pastoreo directo, en la sección siguiente.

Banco de proteína

El Cuadro 5 muestra los costos de establecimiento de una hectárea de poró como banco de proteína para pastoreo directo (20 000 plantas por hectárea) y para corte y acarreo (40 000 plantas por hectárea). Como se observa, la inversión para corte y acarreo es 45.5% mayor que la requerida para pastoreo directo, aunque contiene un 50% más de plantas.

Cuadro 3. Costo de establecimiento y mantenimiento de un kilómetro de cerca viva de (*E. berteriana*) en comparación con una cerca muerta.

	<i>E. berteriana</i>		Muerta	
	(n)	(US\$)	(n)	(US\$)
Establecimiento				
- Postes ¹	60	61.25	333	699.30
- Estacas ²	600	48.00	0	0.00
- Alambre de púas ³	4 000	440.00	4 000	440.00
- Grapas ⁴	2	1.80	11	9.90
- Mano de obra ⁵	8	61.20	24	183.50
- Total	6	12.25		1 332.70
Mantenimiento anual (dos podas)	4	31.16		

1 Postes de gavilán (*Pentaclethra macroleoba*) para cercas vivas, espaciados a 16 metros, con un costo de US\$1.25 por poste y una vida útil de tres años. En el caso de las cercas muertas, postes preservados, espaciados a tres metros, con un costo de US\$2.10 por poste y una vida útil de ocho años.

2 US\$0.08 por estaca.

3 US\$0.11 por metro lineal, utilizando cuatro líneas de alambre.

4 US\$0.90/kg.

5 US\$7.79 jornal de ocho horas.

Fuente: Martínez (11), Reiche y Current (12).

Cuadro 4. Efecto de la poda semestral sobre la producción de biomasa de una cerca viva de poró (*E. berteriana*) con 750 árboles por kilómetro, en el trópico húmedo bajo de Costa Rica.

Año	Hojas ^{1, 2}		Tallo tierno ³		Parte comestible ⁴		Tallo leñoso ⁵		Biomasa total ⁶	
kg MS/km/a o										
1	2 765	(436)	532	(112)	3 297	(524)	6 219	(789)	9519	(1 284)
2	3 836	(431)	382	(167)	4 218	(555)	3 314	(282)	7532	(734)
3	6 208	(961)	3 120	(859)	9 328	(1 556)	9 525	(991)	1 8853	(2 362)
4	6 361	(806)	3 382	(862)	9 743	(1 646)	8 512	(1 580)	1 8255	(3 224)

1 En paréntesis, el error estándar.

2 Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) = 55.6%; proteína cruda (PC) = 23.7%.

3 DIVMS = 43.0%; PC = 7.9%.

4 DIVMS = 53.0%; PC = 20.1%.

5 DIVMS = 34.0%; PC = 6.3%.

6 MS = 23%; DIVMS = 46.4%; PC = 15.5%.

Fuente: CATIE (7).

Cuadro 5. Costo de fijación, mantenimiento y aprovechamiento de una hectárea de poró (*E. berteriana*) como banco de proteína para pastoreo directo y para corte.

	Pastoreo	Corte
Establecimiento		
- Cercado ¹	96.8	96.8
- Preparación ²	146.0	146.0
- Estacas ³	266.7	533.3
- Siembra ⁴	76.5	114.8
Subtotal	586.0	890.9
Mantenimiento		
- Limpieza ⁵	91.8	91.8
- Uniformización ⁴	76.5	114.8
Subtotal	168.3	206.6
Aprovechamiento		
- Mano de obra ⁶	59.2	355.2
- Fertilización ⁷	52.1	52.1
Subtotal	111.3	407.3

1 12 postes a US\$1.25 c/u; 120 estacas sin costo; 600 metros de alambre de púa a US\$0.11/m; 0.5 kg de grapas a US\$0.90/kg y 2 jornales a US\$7.79 c/u.

2 Preparación del terreno: 6 horas de tractor a US\$18/h; 4 litros de Gramoxone y 1 de 2-4-D a US\$3/l y 3 jornales para aplicación de herbicidas.

3 Para pastoreo 6667 estacas; para corte y acarreo 13333 estacas a US\$0.04 c/u. Todas las estacas se sembraron acotadas, por lo que cada una puede dar origen a tres plantas.

4 Sólo en el primer año, 10 jornales para pastoreo y 15 para corte y acarreo.

5 Sólo en el primer año, cada 4 meses, 4 jornales/limpieza

6 Cortes cada 4 meses. Mano de obra requerida para corte y acarreo = 45.6 jornales anuales (60 min/d); para pastoreo 7.6 jornales/año (10 min/d)

7 180 kg de 10-30-10 para un aporte total de 60 kg de P/ha/año.

Fuente: Martínez (11), CATIE (8).

Sin embargo, el costo anual de aprovechamiento es seis veces mayor, requiriendo adicionalmente equipo menor para picar y ofrecer el forraje. Por esta razón, se optó por evaluar únicamente la alternativa para pastoreo directo, por considerarla más viable y práctica. Para efectos del estudio, el área por sembrar en forma de banco de proteína se determinó con base en la siguiente fórmula:

$$A_p = (CE_i \cdot 365 \text{ d} \cdot VO_j) / P_{ms}$$

donde:

A_p = Área por sembrar de poró (ha)
 CE_i = Consumo diario estimado (kg MS/vaca/día)
 365 d = 365 días
 VO_j = Número promedio anual de vacas en ordeño
 P_{ms} = Producción de MS (kg/ha/a)

El consumo diario se estimó en 2 kg MS/vaca/día (0.55% del peso vivo) más un 10% de rechazo, suponiendo que esta cantidad aporta un tercio de los requerimientos totales de proteína para una vaca que produce 6 kg/día. Investigaciones anteriores (6) indican niveles de consumo hasta de 2.5 kg MS/vaca/día (0.6% del peso vivo). Asimismo, con base en resultados preliminares, obtenidos con vacas en ordeño bajo pastoreo directo de poró, se supuso que este aporte genera una producción adicional de 1 kg leche/vaca/día, en comparación con sólo pastoreo de "ratana" (6).

El Cuadro 6 muestra la producción anual de biomasa comestible de un banco de poró, evaluado durante tres años, con una densidad de siembra de 40 000 plantas por hectárea.

Como se observa, la productividad del banco de proteína ha disminuido con el tiempo, pasando de 27 t de biomasa comestible por hectárea, durante el primer año, a 11.5 t durante el tercer año. Esto es debido, principalmente, a la extracción drástica de nutrimentos,

especialmente fósforo, el cual no ha sido incorporado al suelo mediante fertilización. Por lo tanto, en este ejercicio, se contempla la aplicación de 60 kg P/ha/a para compensar esta extracción (CATIE, datos no publicados). Por otro lado, para efectos del presente ejercicio, se consideró que la producción de biomasa comestible del banco de proteína bajo pastoreo directo es 60% menor (13.5 t MS/ha/a) que la obtenida cuando el banco se siembra para corte y acarreo, debido a que la densidad de siembra es menor (20 000 vs. 40 000 plantas/ha) y al efecto de la presencia del animal dentro del banco.

Con base en la fórmula descrita anteriormente, el área por sembrar en la finca representativa sería de 0.36 ha (180 m x 20 m), con nueve divisiones (20 m x 20 m) pastoreadas cada cuatro meses por un periodo de dos semanas. Esto corresponde a una inversión inicial de US\$271.5.

En términos marginales, con un rendimiento adicional esperado de un kilogramo de leche/vaca/día, con respecto a la producción base de leche de cinco kilogramos vaca al día, esta inversión produciría 2190 kg adicionales de leche, representado un ingreso bruto adicional de US\$635 anuales. Deduciendo el costo de aprovechamiento (US\$111.3), el ingreso neto adicional sería de US\$523.7 anuales.

Si se toma como referencia el valor económico del banco de proteína como fuente proteica y se compara con harina de soja, la proteína de soja (base seca) cuesta US\$0.68/kg –en 1991 el precio de la harina de soja a granel fue de US\$0.27/kg, conteniendo 90% MS y 44% PC, de acuerdo con datos proporcionados por Industrial de Oleaginosas Americanas S.A.–, mientras que el kilogramo de proteína del poró cuesta US\$0.09. Es decir, el costo por kilogramo de PC es 755% más caro cuando se utiliza harina de soja.

Para estimar el costo de la proteína de poró se tomaron los datos del Cuadro 5 (costo de estableci-

Cuadro 6. Producción de biomasa de una hectárea de poró (*E. berteriana*) con 40 000 plantas por hectárea en la zona de Guápiles, Costa Rica¹.

Año	Hojas	Tallo tierno	Biomasa comestible ²	Tallo leñoso
1	16 486	10 710	27 196	10 710
2	13 470	5 290	18 760	21 144
3	9 495	2 079	11 574	10 390

1 Valores en kg MS/ha/a.

2 DIVMS = 53.0%; PC = 20.1%.

Fuente: CATIE (6).

miento depreciado a 10 años más el costo anual de aprovechamiento). Adicionalmente se consideró un costo de oportunidad de la tierra equivalente a su alquiler para otros usos alternativos, equivalente al valor de un jornal por hectárea al mes (US\$7.79), o sea, US\$93.48 por hectárea al año, lo cual es práctica común en Costa Rica.

A pesar que la harina de soja es mejor fuente de proteína que el poró, su costo 7.55 veces mayor no justifica la inversión, máxime si se toma en consideración que la mano de obra representa la tercera parte del costo anual del banco de proteína, la cual puede ser aportada por niños o adultos de edad avanzada, quienes realmente están fuera del mercado normal de trabajo.

Siembra de pasturas y leguminosas

En este trabajo se ha utilizado como ejemplo la *B. brizantha* cv. Marandú, sola o en asociación con *A. pintoi*. El Cuadro 7 contiene el costo de fijación de estas alternativas. Como se observa, el costo de ambas alternativas es muy similar; sin embargo, la asociación tiene ventaja a largo plazo, ya que presenta costos menores de mantenimiento por la fijación de N de la leguminosa.

Por otro lado, con base en resultados preliminares (8), se estimó una carga animal de 2.0 UA/ha/a y una

producción de leche de 7 kg/d por vaca en ordeño para la alternativa sin asocio, sin fertilización nitrogenada. Para la alternativa asociada se estimó una carga de 2.5 UA/ha, con una producción de 8 kg de leche al día por vaca en ordeño –un incremento marginal respecto a la producción-base de 2 kg y 3 kg por vaca al día para la alternativa sin asocio y con asocio, respectivamente. El genótipo más utilizado en la ecozona son vacas lecheras con un rango del 50% al 75% de genes europeos, principalmente Holstein y Jersey.

Con base en lo anterior, el área por sembrar para mantener el mismo número de animales en la finca –sin tener que recurrir a la compra de animales adicionales debido a incrementos en la capacidad de carga– sería de 2.4 ha para la alternativa asociada y 3 ha para aquella sin asocio.

El Cuadro 8 muestra las ventajas comparativas de estas alternativas en relación con la finca representativa. Como se puede observar, si el objetivo fuera mantener el mismo número de vacas en ordeño, no sólo se liberarían entre 2.5 ha y 3.1 ha de tierra para otros usos alternativos agrícolas o forestales, sino que la productividad por hectárea y por finca se incrementaría, generando mayores ingresos con costos fijos similares. Asimismo, la inversión inicial es recuperable en menos de un año.

Cuadro 7. Costo de fijación, mantenimiento y aprovechamiento anual de una hectárea de pasto *B. brizantha*, solo o en asociación con *A. pintoi*.

	<i>A. pintoi</i> + <i>B. brizantha</i>	<i>B. brizantha</i>
Establecimiento		
- Preparación de terreno ¹	168.0	168.0
- Preparación de semilla ²	84.2	88.8
- Siembra ³	70.1	23.4
- Fertilización ⁴	57.1	57.1
Subtotal	379.4	352.6
Mantenimiento⁵	36.3	

1 6 horas de tractor a US\$18/h; 4 litros de Gramoxone + 3 litros de 2-4-D a US\$3 por litro; 5 jornales para aplicación de herbicidas a US\$7.79 c/u.

2 Para siembra asociada: 2 kg de semilla de *B. brizantha* a US\$ 29.6/kg; 200 m² de material vegetativo de *A. pintoi* a US\$ 0.125/m²; 2 jornales para corte y acarreo del *Arachis*: Para siembra sin asocio: 3 kg de semilla.

3 9 jornales para siembra asociada y 3 jornales para siembra sin asocio (al voleo).

4 3 jornales, 90 kg de fertilizante 10-30-10 a US\$0.26/kg y 45 kg de Nutran (33.5% N) a US\$0.23/kg.

5 90 kg de Nutrán (33.5% N) a US\$0.23/kg ha/a en dos aplicaciones y 1 jornal por aplicación.

Fuente: CATIE (datos no publicados)

Cuadro 8. Carga animal, producción de leche, inversión e ingresos esperados del reemplazo del pasto ratana por *B. brizantha* sola y asociada con *A. pintoii*.

	Ratana	<i>Brachiaria</i> + <i>Arachis</i>	<i>Brachiaria</i> sola
Carga animal (UA/ha)	1.1	2.5	2.0
Producción de leche (kg/d)			
- por vaca	5.0	8.0	7.0
- por hectárea	5.5	20.0	14.0
- por finca	30.0	48.0	42.0
Producción de leche (kg/a)			
- por vaca	1 825.0	2 920.0	2 555.0
- por hectárea	2 007.5	7 300.0	6 387.5
- por finca	10 950.0	17 520.0	15 330.0
Ingreso bruto (US\$/a)			
- por hectárea	582.2	2 117.0	1 852.4
- por finca	3 175.5	5 080.8	4 445.7
Ingreso marginal (US\$/a ¹)			
- por hectárea	0.0	+ 1 534.8	+ 1 270.2
- por finca	0.0	+ 1 905.3	+ 1 270.2
Inversión (US\$ ²)			
- por hectárea	0.0	379.4	376.6
- por finca	0.0	948.5	1 129.8
Area liberada (ha)	0.0	3.1	2.5

1 Por encima del ingreso que obtendría con pasturas de ratana.

2 Para mantener el mismo número de vacas en ordeño se requiere establecer 2.4 ha de *Brachiaria* + *Arachis*. En el caso de *Brachiaria* sin asocio, se establecen tres hectáreas.

Asociación de árboles maderables con pasturas

Bronstein (3) no encontró diferencias significativas en producción de forraje entre pasturas de estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) sin fertilización, en áreas sin árboles y con árboles en densidades de 260 laureles por hectárea. En ese mismo trabajo (3) se encontró que cada árbol de laurel puede aportar al suelo 0.25 kg N, 0.023 kg P y 0.113 kg de potasio.

Con base en lo anterior, en este ejercicio se utilizó como árbol maderable el laurel (*C. alliodora*), por ser una de las especies mejor adaptadas al trópico húmedo y por su alta demanda en el mercado nacional. Por otro lado, se consideró que la finca representativa puede estar con "ratana" o *B. brizantha*. Asimismo, a pesar que el pasto *Brachiaria* podría eventualmente beneficiarse de los aportes de nutrientes del laurel al suelo, se ha considerado que la producción de MS permanece constante y con la misma carga animal. Es decir, el análisis contempla una inversión y un beneficio esperado ligado estrictamente a la plantación forestal, para lo cual se utilizó CASH, un paquete de flujo de caja para análisis de proyectos forestales en microcomputadores (1).

Para estimar el volumen total de laurel asociado con pasturas se utilizó la ecuación de Somarriba y Beer (13):

$$V_t = 0.017615 + 0.000034 (d^2h) - 0.000086(d^2) + 0.003358(h)$$

donde:

V_t = volumen total (m³)

d^2 = diámetro a la altura del pecho (cm)

h = altura total (m)

El volumen comercial real (VCR) que obtienen los productores es solamente un 64% del V_t , debido a torceduras del tronco, pudrición del duramen y bifurcaciones, entre otros (13). La rotación biológica óptima ocurre a los 34 años de edad y corresponde a un diámetro de 55 cm, con una altura de 35 m (13). Esto genera un V_t de 3.73 m³ por individuo y un VCR de 2.39 m³ por individuo.

La densidad de siembra depende del interés del productor, el área y el flujo de caja disponible. La densidad puede variar desde 1 hasta 1111 árboles por hectárea. Debido a que el laurel se asociará con pasturas, se ha considerado una densidad de 100 individuos

Cuadro 9. Mano de obra y costos para el fijación, mantenimiento y aprovechamiento de una hectárea de *C. alliodora* en el trópico húmedo de Costa Rica.

	Jornales ¹	Insumos (US\$)
Fijación (año 1)		
- Compra de árboles	0.0	12.0 ²
- Limpieza y marcación	1.0	0.2 ³
- Plantación y fertilización	2.5	3.5 ⁴
- Protección de árboles	20.0	50.0 ⁵
- Replante	1.0	4.3 ⁶
	Subtotal ⁷	
	24.5	170.0
Mantenimiento anual	3.0	1.0
Aprovechamiento	6.5	
Extracción y transporte		13.9 ⁸

1 Jornales de 8 horas/día a US\$7.79 c/u.

2 100 árboles a US\$0.12 c/u.

3 0.1 l de Malathion a US\$2.00/litro.

4 100 estaquillas a US\$0.035 c/u y 3 kg de Nutrán a US\$0.16/kg.

5 Protección de bambú en forma de triángulo (1.5 m cada lado y 1.5 m altura) con 6 reglas clavadas en cada lado a razón de US\$1.50 c/u.

6 Replante a razón de 36% de mortalidad a US\$0.12 por árbol.

7 Equivale a US\$360.85/ha (US\$170 en insumos y 24.5 jornales valorados como salario mínimo a US\$190.85).

8 Costo de extracción y transporte por metro cúbico con corteza a 50 km del aserradero (Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas 1992).

Fuente: Reiche y Current (12).

por hectárea (sembrados a 10 m x 10 m de distancia), que permite una producción de forraje capaz de mantener una carga animal similar a aquella de la pastura sin árboles.

Para la proyección financiera se tomaron los costos de establecimiento de una hectárea de laurel (Cuadro 9), dando a cada árbol protección individual contra los daños que podrían ocasionar los animales. Se consideró una supervivencia del 64% (6) y la resiembra de los individuos perdidos durante el mismo año.

Para estimar el ingreso neto proveniente de la cosecha de laurel a futuro (a 34 años plazo) se tomaron dos escenarios: 1) el precio de laurel permanece constante en términos reales (US\$120.80/m³ de VCR, durante 1991, según información obtenida en el Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas y 2) el precio del laurel continúa con un incremento real del 3.24% anual (promedio de los últimos 12 años), tomando como precio base el de 1991. Asimismo, se consideró, para ambos escenarios, que el costo de los insumos principales (mano de obra y transporte) continuará incrementando el promedio de los últimos 12 años (el transporte incrementa al 4.0% anual, partiendo de US\$13.9/m³ con corteza, siguiendo las cifras entregadas por el Ministerio de Recursos Naturales,

Energía y Minas; y la mano de obra incrementa a una tasa de 1.5% anual, partiendo de US\$7.79/jornal, de acuerdo con los datos dados por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social).

El Cuadro 10 muestra el valor presente neto, ingreso anual equivalente, relación beneficio/costo y tasa interna de retorno de una plantación de laurel en las condiciones descritas.

Si se considera que el precio de laurel continúa aumentando en términos reales, el ingreso neto anual sería de US\$1980.40/ha, lo que representa un ingreso de US\$64 211.50/ha al momento de la cosecha. Si el

Cuadro 10. Índices económicos de una siembra de laurel con 100 individuos por hectárea en potreros del trópico húmedo bajo de Costa Rica.

Índice económico	Aumentos en precio	
	Nulo	3.24% anual
Valor presente neto (US\$)	7 716.2	64 211.5
Ingreso anual equivalente (US\$)	238.0	1 980.4
Relación beneficio/costo	1.4	4.0
Tasa interna de retorno	7.9	15.2

productor pudiera reforestar con densidades de 100 árboles de laurel por hectárea, financiado con el ingreso generado por cualquiera de las otras alternativas evaluadas (banco de proteína o siembra de *Brachiaria* sola o en asocio con *Arachis*), la reforestación es una alternativa que le permitiría asegurar un futuro de jubilación seguro, además de representar una de las inversiones más rentables de hoy en día. Adicionalmente, si se mejorara la plantación, de tal manera que aumentara la proporción de madera aprovechable, este ingreso podría ser aún mayor.

En el caso más conservador suponiendo que el precio del laurel en el año 2025, cuando se coseche, sea el mismo que en 1991, y que el costo de transporte y mano de obra continúen su incremento al ritmo antes descrito, el ingreso neto anual sería de US\$238 por hectárea. Esta cifra no incluye el ingreso adicional que el productor obtendría de la actividad lechera, la cual, si se mantiene en pasturas de "ratana", genera US\$18/ha/a, cargando los costos de mano de obra familiar, valorada como salario mínimo, y US\$208/ha/a, excluyendo el costo de mano de obra (Cuadro 2). Es decir, el caso más conservador generaría más ingresos anuales que la situación actual de la finca.

DISCUSION

El Cuadro 11 contiene un resumen de las alternativas evaluadas, expresadas como inversión inicial e ingresos netos marginales en equivalentes anuales por finca y por hectárea.

Jerárquicamente, la actividad más rentable es la siembra de árboles de laurel en pasturas, suponiendo que el precio de la madera continuará aumentando a una tasa anual real del 3.24%, la cual representa el promedio

de los últimos 12 años. Aun sin aumentos reales de precio es una actividad que genera mayores ingresos por hectárea (US\$238/a) que la situación actual de la finca (US\$208/ha/a). Cabe aclarar que el laurel es una de las especies más exigentes en cuanto a calidad de suelo y drenaje, por lo que posiblemente no toda la finca pueda ser sembrada de laurel. Otras especies (eucalipto) de crecimiento más rápido (15 años) podrían ser incorporadas, generando ingresos equivalentes menores, pero con tiempos de cosecha más cortos. La principal desventaja, desde el punto de vista económico, es que esta actividad no tiene flujo de caja, lo cual es una de las ventajas más importantes de la actividad lechera.

El banco de proteína representa la segunda mejor opción, ya que genera ingresos adicionales por hectárea de US\$1705 por año. Sin embargo, los ingresos reales para la finca en cuestión serían únicamente de US\$576/a, debido a que el área de siembra como banco de proteína sería tan sólo 0.36 ha, que corresponde a las necesidades de seis vacas en ordeño.

Las alternativas que involucran siembras de pasto, solo o en asocio con leguminosas, generan los menores ingresos adicionales por hectárea. No obstante, a nivel de finca, generan mayores ingresos que el banco de proteína, pues el área de siembra varía de 2.4 ha a 3 ha, dependiendo de la alternativa.

La estrategia que se ha de seguir dependerá del objetivo del productor. Existen ecozonas dentro del trópico húmedo de Costa Rica, donde muchos productores han cambiado su actividad agrícola o lechera por cría, que requiere menos mano de obra, para así poder vender su fuerza de trabajo a compañías bananeras, convirtiéndose en "productores de medio tiempo". Esto se debe a que el costo de oportunidad de la mano de obra es 50% mayor que en otras zonas (el salario

Cuadro 11. Inversión e ingresos netos marginales en la finca inicial, en equivalentes anuales esperados (US\$) por finca y por hectárea.

Alternativa	Finca		Hectárea	
	Inversión	Ingreso	Inversión	Ingreso
Finca inicial (FI) ¹	0	3 114	0	208
FI + <i>Brachiaria</i>	904	+1 270	377	+1 270
FI + <i>Brachiaria</i> + <i>Arachis</i>	1 138	+1 905	379	+1 111
FI + Banco de proteína	272	+576	754	+1 705
FI + Laurel				
a) sin aumento de precio	5 415	+3 570	361	+238
b) con aumento de precio ²	5 415	+29 700	361	+1 980

1 FI genera un ingreso neto anual de US\$3114. Los ingresos de las alternativas son expresados como ingresos adicionales a éste.

2 Suponiendo que el precio de la madera continúa incrementando a una tasa de 3.24% anual.

mínimo en las bananeras es cercano a los US\$15/d). Con esta perspectiva, el sembrar árboles con densidades más altas en combinación con actividades pecuarias con bajo requerimiento de mano de obra, podría ser de mayor beneficio.

Si el objetivo es producir más leche y en ecozonas donde la mano de obra tiene un costo de oportunidad menor similar o menor que el salario mínimo, una alternativa sería establecer el banco de proteína como primera opción, pues requiere una inversión inicial menor, para luego establecer pasturas mejoradas. Con el incremento de ingresos generados por estas actividades, la opción lógica sería establecer plantaciones de árboles maderables en potreros.

CONCLUSIONES

Las alternativas consideradas representan una primera aproximación del beneficio económico que puede ofrecer un sistema silvopastoril en condiciones del trópico húmedo, en relación con sistemas de producción tradicionales. Este beneficio pudiera ser aún mayor en otros ecosistemas (trópico seco).

Sin embargo existen beneficios intangibles, que podrían ser más importantes para la sociedad que para el mismo productor y que no se han considerado en este análisis. Estos beneficios son difíciles de cuantificar, como es el caso del valor del árbol en la producción de oxígeno y secuestro de bióxido de carbono (CO²), la sombra y el reciclaje de nutrientes, entre otros.

LITERATURA CITADA

1. BLINN, C.R.; ROSE, D.W. 1985. CASH: A general cash flow and sensitivity analysis: Microcomputer program for conducting project analysis. St. Paul, Minnesota, USA, Department of Forest Resources, University of Minnesota. Staff Paper Series. 36 p.
2. BOREL, R. 1988. Sistemas silvopastoriles para la producción animal en el trópico y uso de árboles forrajeros en alimentación animal. In Conferencia Nacional de Producción y Utilización de Pastos y Forrajes Tropicales (2., 1988, Cali, Col.). Memorias. Cali, Col., Centro Internacional de Agricultura Tropical. p. 194.
3. BRONSTEIN, G.E. 1984. Producción comparada de una pastura de *Cynodon plectostachyus* asociada con árboles de *Cordia alliodora*, con árboles de *Erythrina poeppigiana* y sin árboles. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 110 p.
4. DGEN (DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA Y CENSOS) 1975. Censo agropecuario 1973. San José, C.R., Ministerio de Economía, Industria y Comercio. 432 p.
5. DGEN (DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA Y CENSOS) 1987. Censo agropecuario 1984. San José, C.R., Ministerio de Economía, Industria y Comercio. 168 p.
6. CATIE (CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA). 1989. Proyecto Sistemas Silvopastoriles para el Trópico Húmedo. Informe anual 1989. Turrialba, C.R., CATIE. 184 p.
7. CATIE (CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA). 1990. Proyecto Sistemas Silvopastoriles para el Trópico Húmedo. Informe anual 1990. Turrialba, C.R., CATIE. 170 p.
8. CATIE (CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA). 1991. Proyecto Sistemas Silvopastoriles para el Trópico Húmedo. Informe anual 1991. Turrialba, C.R., CATIE. 148 p.
9. CCAD (COMISION CENTROAMERICANA DE AMBIENTE Y DESARROLLO) 1991. Plan de acción forestal tropical para Centroamérica. San José, C.R., CCAD. 82 p.
10. HOLMANN, F.; ESTRADA, R.D.; ROMERO, F.; VILLEGAS, L.A. 1992. Technology adoption and competitiveness in small milkproducing farms in Costa Rica: A case study. Journal of Livestock Research for Rural Development (En prensa).
11. MARTINEZ, H.A. 1989. El componente forestal en los sistemas de finca en pequeños productores. Turrialba, C.R., Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Serie Técnica. Boletín Técnico no. 19. 79 p.
12. REICHE, C.; CURRENT, D. 1991. Rendimientos en faenas y costos para la producción de árboles de uso múltiple en América Central (1988-1989): Resumen regional anual. Turrialba, C.R., CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 174. 35 p.
13. SOMARRIBA, E.; BEER, J. 1986. Dimensiones, volúmenes y crecimiento de *Cordia alliodora* en sistemas agroforestales. Turrialba, C.R., CATIE. Serie Técnica. Boletín Técnico no. 16. 14 p.