

UNIVERSIDAD NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MAR

ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES

**LICENCIATURA EN INGENIERIA EN CIENCIAS FORESTALES CON ENFASIS
EN COMERCIO DE PRODUCTOS FORESTALES**

Trabajo de graduación bajo la modalidad de artículo científico, bajo los títulos:

*Costos de producción de teca (*Tectona grandis* L.f.) y melina (*Gmelina arborea* Roxb) en
un sistema silvopastoril de la zona norte de Costa Rica.*

*Análisis financiero y escenarios de financiamiento del componente forestal en un sistema
silvopastoril*

Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de
Ciencias ambientales de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en
Ciencias Forestales con énfasis en comercio de productos forestales.

Mónica Ospino Araya

Heredia, Costa Rica mayo, 2018

Trabajo de graduación sometido a consideración del Tribunal Examinador de la Escuela de Ciencias ambientales de la Universidad Nacional para optar al grado de Licenciatura en Ciencias Forestales con énfasis en comercio de productos forestales.

MIEMBROS DEL TRIBUNAL EXAMINADOR

M.Sc. Tomás Marino Herrera, Decano

Decano de la Facultad de Ciencias de la Tierra y el Mar

Viria Bravo Duran

Director de la Escuela de Ciencias

Ambientales de la Universidad Nacional

Ph.D Olman Murillo Gamboa

Tutor

Ph.D Sergio Molina Murillo

Lector

Universidad Nacional

Lic. Héctor Arce Benavides

Lector

Fondo Nacional de
Financiamiento Forestal

Lic. Marco Fallas Chacón

Lector

Corporación Ganadera

Postulante

Mónica Ospino Araya

Tabla de contenidos

1. Resumen General	5
1.2 Introducción	5
1.3. Objetivos	6
2. Artículos Científicos finales.....	7
2.1. Artículo 1. Costos de producción de teca (<i>Tectona grandis</i>) y melina (<i>Gmelina arborea</i>) en un sistema silvopastoril de la zona norte de Costa Rica.....	7
2.2. Artículo 2. Análisis financiero y escenarios de financiamiento del componente forestal en un sistema silvopastoril.	32
2.2. Artículo 2. Costos de producción de teca (<i>Tectona grandis</i>) y melina (<i>Gmelina arborea</i>) en un sistema silvopastoril de la zona norte de Costa Rica.....	53

Índice de Cuadros: Artículo 1. Costos de producción de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) en un sistema silvopastoril de la zona norte de Costa Rica.

Cuadro 1. Descripción de las características de los modelos silvopastoriles	12
Cuadro 2. Costos de gestión, preparación y establecimiento/ha de franjas de madera en el sistema silvopastoril, en la modalidad de alta (MAI) y baja inversión (MBI) (1US\$ = ₡575, junio 2017).....	15
Cuadro 3. Costos de establecimiento de una cerca eléctrica en la periferia de dos franjas de 100 m de longitud y 7 m de ancho, en un sistema silvopastoril. (1US\$ = ₡575)	18
Cuadro 5. Costos de mano de obra para mantenimiento y manejo anual de franjas de melina en el modelo silvopastoril de alta inversión.	22
Cuadro 6. Costos de mano de obra para mantenimiento y manejo anual de franjas de teca en el modelo silvopastoril de alta inversión.	23
Cuadro 7. Costos totales para los modelos silvopastoriles de alta y baja inversión basados en melina y teca.	24

Índice de Figuras: Artículo 1.

Figura 1. Opciones de establecimiento de sistemas silvopastoriles con franjas de madera (Paniagua et al. 2015)	11
Figura 2. Costo anual de establecimiento y manejo de 150 árboles/ha en franjas de melina (izquierda) y teca (derecha) en un sistema silvopastoril de alta inversión.	20
Figura 3. Distribución del costo de establecimiento de producción de madera en el modelo silvopastoril de alta inversión basado en melina (izquierda) y teca (derecha).	21

Índice de Cuadros: Artículo 2. *Análisis financiero y escenarios de financiamiento del componente forestal en un sistema silvopastoril.*

Cuadro 1. Ingresos esperados por la madera de melina (<i>Gmelina arborea</i>) y teca (<i>Tectona grandis</i>) en un sistema silvopastoril de alta inversión, basado en dos franjas de madera/ha (Murillo, 2017). 37	
Cuadro 2. Flujo de caja de la producción de madera en dos franjas de melina (<i>Gmelina arborea</i>)/ha, en sistemas silvopastoriles de alta inversión (MAI), en la zona norte de Costa Rica (1US\$ = ₡575, junio 2017).	39
Cuadro 3. Flujo de caja de la producción de madera en dos franjas de teca (<i>Tectona grandis</i>)/ha, en sistemas silvopastoriles de alta inversión (MAI), en la zona norte de Costa Rica (1US\$ = ₡575, junio 2017).	40
Cuadro 4. Ingresos esperados por venta de madera en franjas de melina (<i>Gmelina arborea</i>) y teca (<i>Tectona grandis</i>) en sistemas silvopastoriles en Costa Rica, para el modelo de baja inversión (Murillo, 2017).	41
Cuadro 5. Flujo de caja para el financiamiento de franjas de melina (<i>Gmelina arborea</i>) clonal en SSP de baja inversión (MBI) en la zona norte de Costa Rica (1US\$ = ₡575, junio 2017).	43
Cuadro 6. Flujo de caja para el financiamiento de franjas de teca (<i>Tectona grandis</i>) clonal en SSP de baja inversión (MBI) en la zona norte de Costa Rica (1US\$ = ₡575, junio 2017).	44
Cuadro 7. Escenarios de financiamiento para el establecimiento de franjas de madera con melina y teca en sistemas silvopastoriles de alta inversión, zona norte de Costa Rica	45

1. Resumen General

En el presente estudio se construyó un modelo de costos financiero analizando la rentabilidad de un sistema silvopastoril, en donde el componente forestal se incorporó por medio de franjas angostas de producción de madera dentro de un terreno de uso pecuario. Se utilizó un arreglo de siembra de tresbolillo en hileras de árboles a diferentes espaciamientos con el fin de determinar la mayor productividad posible del componente forestal dentro de fincas ganaderas y contribuir a reducir la huella de carbono generada por esta actividad.

Se elaboraron dos artículos científicos con el título *Costos de producción de teca (Tectona grandis) y melina (Gmelina arborea) en un sistema silvopastoril de la zona norte de Costa Rica*. en donde se construyó una estructura de costos y *Análisis financiero y escenarios de financiamiento del componente forestal en un sistema silvopastoril* para el modelo propuesto en este proyecto de investigación, además se analizaron cuatro escenarios de financiamiento para evaluar cuál es la opción más adecuada para fomentar el uso de este modelo dentro de las fincas ganaderas.

1.2 Introducción

Los sistemas silvopastoriles (SSP) se definen como la integración del ganado con forrajeras herbáceas o leñosas perenes en donde interactúan bajo un sistema de manejo integral. Estos sistemas se han utilizado bajo distintas modalidades de siembra (cortinas rompe vientos, cercas vivas, dispersos en potreros y árboles en linderos) (Villanueva et al. 2004).

Esta investigación se enmarca dentro del proyecto "*Modelo silvopastoril orientado a la reducción de la huella de carbono y al aumento de la productividad económica*" desarrollado por la el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Universidad Nacional (UNA) y Universidad de Costa Rica el cual pertenece al proyecto de investigación FEES-CONARE en el área prioritaria de cambio climático. Tiene por objetivo analizar financieramente dos sistemas silvopastoriles (SSP) y proponer opciones de financiamiento utilizando las especies teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) clonal en la zona Norte de Costa Rica.

El modelo de Sistema Silvopastoril a analizar consiste en la inclusión de dos franjas de árboles por hectárea en terrenos de uso pecuario de 700 m² cada una (1400 m²). Se evaluará un distanciamiento entre árboles de 2,5 x 4 m obteniendo 75 árboles por franja (150 árboles/hectárea) para producción de madera.

Además se recopilará información de los costos e insumos necesarios para establecer y manejar el SSP hasta su futuro aprovechamiento. Con los resultados obtenidos se analizará la rentabilidad por medio de los indicadores financieros (VAN, TIR, R B/C) para proponer opciones de financiamiento evaluando el sistema de crédito y el pago de servicios ambientales que ofrece el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO).

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar financieramente el componente forestal de dos sistemas silvopastoriles (SSP) y proponer opciones de financiamiento, basado en el cultivo de clones de teca (*Tectona grandis* L.f) y melina (*Gmelina arbórea* Roxb) clonal en la zona Norte de Costa Rica.

1.3.2 Objetivos específicos

Elaborar la estructura de costos del componente forestal del sistema silvopastoril.

Analizar financieramente el componente forestal de los SSP basado en el cultivo de clones de teca y melina las especies forestales teca y melina.

Proponer escenarios de financiamiento para el componente forestal.

2. Artículos Científicos finales

2.1. Artículo 1. Costos de producción de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) en un sistema silvopastoril de la zona norte de Costa Rica.

Resumen

A pesar de la experiencia que se ha generado sobre modalidades de sistemas silvopastoriles, la ausencia de información económica constituye una de sus barreras para su fomento. El componente forestal, tradicionalmente no ha contribuido económicamente con la economía de la finca ganadera. En este estudio se diseñó y puso a funcionar una nueva opción silvopastoril, que permite la integración del negocio pecuario con el de madera. Se reporta la estructura completa de costos del componente forestal, basado en clones de alto rendimiento genético de las dos especies de mayor reforestación en la región: melina (*Gmelina arborea Roxb.*) y teca (*Tectona grandis L.f.*). Se presenta en detalle las actividades de establecimiento, mantenimiento, manejo y cosecha de los árboles en el sistema silvopastoril (SSP). La información se diferenció en dos escenarios, el modelo de alta (MAI) y baja inversión (MBI), los cuales se distinguen por el paquete tecnológico utilizado. El componente forestal propuesto consistió en el establecimiento de dos franjas de árboles de siete metros de ancho/ha. Dentro de las franjas se plantan los árboles en distribución tresbolillo, a un distanciamiento de 2,5 m entre hileras y, dentro de cada hilera, cada 4 m. Los costos totales para producir madera en dos franjas/ha con 150 árboles en el modelo de alta inversión, se estimó en ₡ 752 480 (US \$ 1 320), en un ciclo de ocho años con melina. Mientras que con teca en un ciclo de 16 años, el costo total estimado fue de ₡ 967 539 (US \$1 697). Para el modelo de baja inversión los costos totales para melina son de ₡ 545 739 (US \$ 957) y para teca ₡ 714 548 (US \$1 253). La información de la estructura de costos es fundamental para la toma de decisiones a todo nivel. Se espera que con este estudio se generen nuevas opciones de análisis de inversión y manejo de sistemas silvopastoriles en la región. La información permitirá analizar financieramente los sistemas silvopastoriles utilizando clones de teca y melina para fomentar la producción de madera de alto valor económico en fincas ganaderas, generando un impacto social importante. Desde el punto de vista ambiental, los árboles

contribuirán a mitigar la huella de carbono de esta actividad, la de mayor extensión en el territorio nacional con más de 1 000 000 de hectáreas.

Palabras clave: *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, silvopastoril, economía

Introducción

La ganadería en Costa Rica es una actividad productiva tradicional que se desarrolla desde hace aproximadamente 450 años (CORFOGA 2015). Actualmente un 43,4% (1,86 millones ha) del territorio corresponden a tierras ocupadas por pastos (INEC 2014). Sin embargo la mayor parte de estas áreas son utilizadas para desarrollar sistemas de ganadería extensiva, con baja tecnología que provocan un deterioro ambiental y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que contribuyen al calentamiento global (FAO 2013).

El país tiene como meta alcanzar la carbono neutralidad en el 2021 y todos los sectores deben aportar a esta causa desde sus posibilidades y realidad socioeconómica. Por ser la ganadería el uso del suelo de mayor superficie en el territorio nacional, su impacto ambiental es de suma relevancia. Debe por tanto buscarse soluciones e invertir en la mejora de los sistemas de producción, con el fin de poner en marcha opciones que reduzcan emisiones y aumenten su rentabilidad.

Los sistemas silvopastoriles (SSP) asocian el componente forestal, el forrajero y la producción de carne o leche (Murillo *et al.* 2013). Han sido promovidos durante décadas y un abundante conocimiento ha sido generado al respecto (Ibrahim *et al.* 2007; Casasola *et al.* 2009). Sin embargo, en nuestro medio no ha ocurrido una verdadera integración entre el componente forestal y el ganadero.

Es común encontrar modalidades de SSP en fincas ganaderas (cortinas rompevientos, árboles en hileras o linderos, y árboles dispersos en potrero) (Villanueva *et al.* 2010). Sin embargo, por lo general los árboles tradicionalmente no contribuyen con la economía de la finca (Murgueito e Ibrahim 2008).

El componente forestal del modelo silvopastoril propuesto por Murillo *et al.* (2015), consiste en un diseño que permite la inclusión de franjas de especies forestales de alto valor, intercaladas dentro de la unidad de producción pecuaria. Su propósito es desarrollar un sistema social, económica y ambientalmente sostenible, que contribuya con la reducción de la huella de carbono de la actividad ganadera.

La información financiera y de estructura de costos es fundamental para lograr el desarrollo de propuestas de fomento de cualquier actividad productiva. La información económica disponible sobre SSP no incluye la totalidad de costos. Se refiere más a una ganadería arbolada, que a un sistema que integra dos negocios productivos, la producción animal y la producción de madera.

El desarrollo de un modelo de costos real y exhaustivo permitirá fomentar el establecimiento de SSP atractivos y de mayor adopción por parte del sector ganadero. Contribuirá a que el país alcance a largo plazo una transformación en un paisaje rural sostenible (Murgueito 2009). Este estudio aporta un modelo de costos completo del componente forestal de un nuevo enfoque SSP para el país, con el objetivo de generar información técnica de utilidad a investigadores y productores ganaderos.

Metodología

Modelo silvopastoril propuesto

El componente forestal del modelo silvopastoril propuesto se desarrolla desde hace cuatro años en la zona norte de Costa Rica.

Para facilidad de comparación y análisis, el modelo de costos fue adaptado a la unidad de una hectárea, a partir de la incorporación de árboles en franjas angostas de siete metros de ancho, dentro de potreros o repastos. En la modalidad más intensiva las franjas se establecen cada 50 m, preferiblemente con una dirección este-oeste para reducir sombrero fuera de las franjas. Con este arreglo espacial se pueden establecer dos franjas de 700 m² cada una por ha (7 m de ancho por 100 m de longitud), para un total de 1 400 m² ó también, 14% de la superficie de una hectárea bajo producción de madera. El diseño establece que dentro de cada franja se plantan tres hileras de árboles en distribución “tresbolillo o pata de gallo”, separadas por 2,5 m entre hileras y, dentro de cada hilera, los árboles se plantan cada 4 m. Esto da como resultado tres hileras internas por franja, con un espaciamiento de 2,5 m x 4 m, que permiten albergar un total de 75 árboles/franja o también, 150 árboles/ha en producción de madera (Figura 1).

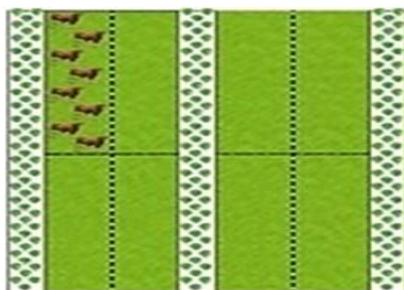


Figura 1. Opciones de establecimiento de sistemas silvopastoriles con franjas de madera (Paniagua et al. 2015)

Se seleccionaron las especies melina (*Gmelina arborea Roxb.*) y teca (*Tectona grandis L.f.*) por ser las de mayor tasa de plantación y mercado de madera en el país y, con el paquete tecnológico de mayor evolución y desarrollo, basado en el uso de clones de alto rendimiento (Murillo y Badilla 2015).

El estudio se basó en el sistema de costos general para plantaciones forestales en Costa Rica, propuesto por el equipo de investigación en plantaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Murillo *et al.* 2015). De este modelo base, se adaptó la información para el establecimiento y manejo de esta modalidad de plantación de teca y melina clonal en franjas de madera. Se tomó como experiencia los costos reales de establecimiento y mantenimiento de franjas de madera en sistemas ganaderos en los años 2013 al 2016, en varias fincas del Colegio Agropecuario de San Carlos y del Instituto Tecnológico de Costa Rica en la zona norte del país.

La información sobre costos de agroquímicos, establecimiento y mantenimiento de cercas, preparación de terreno mecanizado, insumos en general, se obtuvo a partir de la experiencia directa del estudio y a través de entrevista a expertos en producción forestal y ganadería. Así también, se realizaron consultas y cotizaciones en almacenes y comercio especializado. Con esta información se logró afinar y actualizar la base de datos, que compiló en detalle los costos de cada actividad del establecimiento, mantenimiento, manejo y aprovechamiento de los árboles dentro de las franjas de madera. La estructura de costos se construyó en colones, en donde se organizó cronológicamente año con año, cada actividad que ocurre en un ciclo completo de producción de madera de melina y teca dentro del SSP.

El modelo de costos se diferenci6 entre alta y baja inversi6n de tecnologa (Cuadro 1), que coincide en buena parte con el concepto de peque1o (< 20 ha), mediano (< 50 ha) y gran productor (> 50ha) utilizado en el pa6s (Murillo y Badilla 2015). Ambas modalidades se diferencian en que en el paquete tecnol6gico de alta inversi6n (MAI), aplica una mayor cantidad y especialidad de tecnologa. Mientras que el de menor inversi6n es an6logo al concepto de m6nima labranza.

Cuadro 1. Descripci6n de las caracter6sticas de los modelos silvopastoriles

Modalidad	Caracter6sticas
Alta inversi6n (MAI):	Propiedades de > 20 ha. Incluye preparaci6n mecanizada del terreno, enmiendas, fertilizaci6n y utiliza cerca el6ctrica.
Baja inversi6n (MBI):	Fincas < 20 ha, no hay preparaci6n mecanizada del terreno, pobre manejo del suelo y utiliza cercas vivas.

Asistencia t6cnica

El sistema de plantaci6n forestal del pa6s incluye la figura del ingeniero forestal regente, acorde con la normativa costarricense. Sus labores incluyen la gesti6n y supervisi6n de todas las actividades, desde el planeamiento, dise1o y establecimiento del sistema de franjas de madera. As6 como las gestiones ante el Fondo de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). Los costos fijos/ha de asistencia t6cnica se diferenciaron con base en el tama1o del 6rea de producci6n. El MAI se sustent6 en un modelo de 50 ha, mientras que el MBI en 20 ha lo que provoca una diferencia en el costo de asistencia t6cnica del MAI y el MBI.

Mano de obra

En el caso del MAI, el costo del jornal se determin6 mediante el monto oficial que establece el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social en el segundo semestre (2016), que establece un valor de ₡ 9 711 para un pe6n agr6cola que realiza labores pesadas (6 horas/d6a). Sin embargo

se le debe añadir un 45% (¢4 437) correspondiente a las cargas sociales, que suma un costo total por jornal de ¢14 148 (US \$ 24,6, a tasa de cambio de 1 US \$ = ¢575, junio 2017).

MBI: En el caso de pequeños productores, buena parte de la mano de obra es aportada por la familia dueña de la propiedad, así como mediante el contrato de trabajadores ocasionales. Por tanto, no existe el concepto de planilla y no hay en teoría pago por cargas sociales. Para estar en concordancia con la normativa nacional sobre seguridad laboral del trabajador en el país, al costo del jornal se le añadió el pago del seguro voluntario del trabajador independiente que tiene definida la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), determinado para el II semestre 2016 en Costa Rica en ¢ 25 647, tal y como lo proponen Murillo *et al.* (2017). Para su estimación en el costo del jornal, se asumió que un trabajador ocasional logra ocuparse en promedio 20 días/mes, que resultó en un valor diario de ¢ 1 282. Por tanto, el costo del jornal se determinó mediante el mismo valor oficial del jornal mencionado anteriormente (¢9 771) más ¢1 282 de la CCSS, para un total de ¢11 053,71. Este costo total por jornal asume entonces que el trabajador con ese dinero podrá pagar en forma voluntaria el costo de su seguridad social. Finalmente, a este valor hay que agregarle el pago de una póliza de riesgos laborales, que es obligatoria en la legislación nacional y corresponde a un 3% del salario. De tal manera que el costo final del jornal del peón agrícola ocasional para el modelo fue de ¢11 385 (US \$19,8).

Aislamiento o protección de los árboles (cercas)

La protección de los árboles por medio de cercas (eléctrica o cerca viva) es esencial para impedir el ingreso de los animales dentro de las franjas de madera (Méndez *et al.* 2000). Para el modelo de alta inversión se seleccionó la opción de cerca móvil o provisional, que permite

su retiro con facilidad para realizar el aprovechamiento de los árboles en los raleos y la cosecha final. Este diseño plantea el no ingreso de los animales dentro de las franjas, tema que será sujeto de discusiones a futuro.

Los componentes e insumos necesarios para el establecimiento de las cercas incluyen los costos del equipo eléctrico (fuente de poder), la toma de tierra, el aislador y el alambre; los cuales se necesitan para el funcionamiento de la cerca eléctrica. Se incluyen los costos de los materiales necesarios para establecer las cercas alrededor de las dos franjas, cada una con una longitud de 100 m y con 7 m de ancho en una hectárea de terreno.

Para calcular la depreciación del equipo e insumos de la cercas, se dividió el costo total de cada insumo por sus años de vida útil. El valor resultante se prorrateó entre la cantidad de hectáreas del MAI y el MBI. Para efectos del impulsor de 80 millas y panel solar se utilizó una vida útil de 8 y 16 años. Los productos con una vida útil menores al ciclo de producción se renovaron varias veces hasta ajustar con el ciclo completo de producción de los árboles (8 años la melina y 16 años la teca).

Resultados

Los costos de establecimiento del sistema en el año cero o de inversión inicial, se registran en detalle en el cuadro 2. En el modelo de alta inversión (MAI) se incluye la preparación mecanizada del terreno y el jornal se registra con las cargas sociales completas. Mientras que en el modelo de baja inversión (MBI) no se incluye la preparación del terreno, el costo del jornal es inferior (pago de seguro voluntario) y, algunos insumos no son incluidos.

Cuadro 2. Costos de gestión, preparación y establecimiento/ha de franjas de madera en el sistema silvopastoril, en la modalidad de alta (MAI) y baja inversión (MBI) (1US\$ = ₡575, junio 2017)

Actividad	Unidad	Jornales	MAI Insumos (₡/ha)	MAI Mano Obra (₡/ha)	MBI Insumos (₡/ha)	MBI Mano Obra (₡/ha)
Gestión del proyecto						
Recolección de información (Inspección y medición de área)	hora-profesional	4	-	2,087		5,217
Análisis de suelo	Ha	1	14,000	-	14,000	-
Análisis de documentos y estudio de registro	hora-profesional (repartido en 20 ó 50 ha según modelo de producción)	2		2,087		5,217
Formulación de propuesta	hora-profesional	8		4,174		10,434
Informe de verificación de siembra	hora-profesional	4		2,087		5,217
Verificación en campo del mantenimiento	hora-profesional	4		2,087		5,217
Subtotal		23	14,000(\$24)	12,522 (\$21)	14,000(\$24)	31,302(\$54)
Preparación del terreno						
Renovación de cercas viejas	Jornal	1,00		14,148		-
Drenajes primarios	Jornal	0,25		3,537		-
Drenajes secundarios	Jornal	0,25		3,537		-
Subsolado	Hora tractor	0,25	2,000			-
Arado	Hora tractor	0,25	2,000			-
Rastrea	Hora tractor	0,25	2,000			-

Lomillado	Hora tractor	0,25	2,000			-
Subtotal		2,5	8,000 (\$14)	21,222		-\$37
Establecimiento						
Chapea Manual (100% del área)	Jornal	1		14,148		11,395
Control químico de malezas 100% del área	Jornal	0,25		3,537		-
Pre-emergente + adherente	Litro	0,15	1,661		-	
Trazado-marcación	Jornal	0,33	3,600	4,669	3,600	3,757
Preparado y acarreo de estacas guía	Jornal	0,10		1,415		1,139
Rodajea pre-plantación	Jornal	0,20		2,830		2,277
Hoyado	Jornal	0,40		5,659		4,544
Distribución de plantas	Jornal	0,10		1,415		1,139
Encalado manual 100% del área (2 a 4 Ton/ha)	Jornal	0,20		2,830		2,277
Cal (2-4 Ton/ha)	1 saco	0,35	9,524		2,450	
Plantación y fertilización inicial	Jornal	0,30		4,245		3,416
Fertilizante 10-30-10	1 saco	0,14	15,500		15,500	
		g/arb				
Árboles	Árboles	150,00	30,000		30,000	
Resiembra	Jornal	0,20		2,122		1,708
Árboles de resiembra	Árboles	15,00	3,000		3,000	
Subtotal		3,58	63,285	42,870	54,550	31,652
			(\$110)	(\$74)	(\$94)	(\$55)
Total		6,08	85,285	76,614	68,550	62,954

	(\$148)	(\$133)	(\$119)	(\$109)
Costo total de gestión y establecimiento	161,899		131,504	
	(\$281)		(\$229)	

Cuadro 3.Costos de establecimiento de una cerca eléctrica en la periferia de dos franjas de 100 m de longitud y 7 m de ancho, en un sistema silvopastoril. (1US\$ = ₡575)

Mano de obra	Unidad	Jornal	Costo/ha		
			(₡)		
Aislamiento	Jornal	0,50	7,074		
Hoyado	Jornal	0,50	7,074		
Siembra de poste	Jornal	0,25	3,537		
Armado de la cerca móvil	Jornal	0,10	1,415		
Subtotal		1,35	19,100		
			(US \$33)		
Equipo	Cantida d	Vida útil (años)	Costo unidad (₡)	Costo/ha (1/50)	Costo/ ha/año
Impulsor de 80 millas (110 voltios)	1	8	137,500	2,750	275 (348*)
Cuchilla de doble tiro	1	5	9,100	182	36,4
Desviador de rallos	1	5	11,475	230	46
Cable forro de 50 m	1	5	17,550	351	70,2
Varillas de copperweld	6	5	5,618	674	134,8
Tornillos de varillas copperweld	6	5	1,600	192	38,4
Panel solar o celdas fotovoltaicas	1	16	123,500	2,470	123,5 (309*)
Subtotal				6,849	724
				(\$12)	(\$1,3)
Dispositivos	Cantida d	Vida útil	Costo c/u	Costo/ha	Costo/ Ha/año
Poste de fibra de vidrio	20	5	2,000	40,000	8,000
Postes de madera para las esquinas (2m)	8	5	5,650	45,200	9,040
Cordón eléctrico (400 m)	1,2	5	30,000	36,000	7,200
Carrete	2	5	25,000	50,000	10000
Manigueta	2	3	1,470	2,940	980
Cordón elástico (100 m)	4	3	1,800	7,200	2400
Agarradera del portillo	2	3	1,900	3,800	1266,7
Subtotal				185,140	38,887
				(\$321)	(\$69)
Total				211,089	58,711

(\$367) (\$102)

*La depreciación del impulsor y el panel solar fue dividida entre los ocho años de rotación de la melina.

*Depreciación en 8 años ₡/ha 13,247 en melina y ₡/ha 16 559 en 10 años para el modelo de teca.

Para el MAI se establece una cerca eléctrica móvil que pueda retirarse con facilidad para realizar los raleos y cosecha a futuro de los árboles, Los costos de la cerca incluyen la mano de obra, el aislamiento, la depreciación y los insumos necesarios para su establecimiento (Cuadro 3).

En el modelo de baja inversión se asume que el productor establece dos franjas por hectárea, pero utilizando el perímetro de la finca o una combinación de ambas (Figura 1). En estos casos se aprovecha la cerca viva ya existente y solamente se invertiría en el establecimiento de una sola línea de cerca interna para aislar los árboles (Cuadro 4).

Cuadro 4: Costos de establecimiento de la cerca viva, alrededor de dos franjas de 100 m de longitud y 7m de ancho dentro de un sistema silvopastoril (1 US \$ = ₡575).

Insumos	Cantidad	Precio/unidad (₡)	Costo (₡/ha)
Poste vivo	14	1,200	16,800
Estacones	36	300	10,800
Alambre de púas (330 m)	2	19,111	38,222
Bolsa de grapas	1	1,230	1,230
Subtotal			67,052 (\$116)
Mano de obra	1,50 Jornales		17,078 (\$29)
Costo Total			80,032 (\$139)

Los costos de mantenimiento son constantes durante los primeros cuatro a cinco años, debido a que el programa de control de malezas se mantiene activo y demanda una atención importante para lograr reducir la competencia de las gramíneas y otras plantas. En un ciclo completo de producción de melina en ocho años se estima este rubro en ₡34 242 por hectárea.

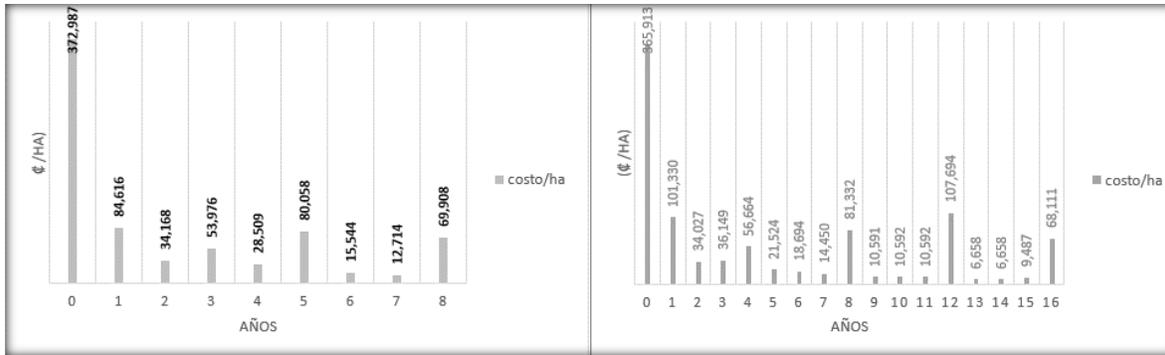


Figura 2. Costo anual de establecimiento y manejo de 150 árboles/ha en franjas de melina (izquierda) y teka (derecha) en un sistema silvopastoril de alta inversión.

Para el MAI basado en plantaciones de melina se puede observar en la Figura 2 que los mayores costos ocurren en los años cero, uno, cinco y ocho (49,6%, 11,2%, 10,6% y 9,3% respectivamente). El año de establecimiento de la plantación suele ser el más alto en la actividad forestal (Murillo *et al.* 2017) y en el SSP evaluado, debido a que los costos de establecimiento de la cerca eléctrica incrementan los costos. En el año cinco y ocho se efectúa el segundo aprovechamiento y la cosecha final por lo que los costos son mayores y se registra un aumento significativo debido a los costos de aprovechamiento de los árboles de melina. Similar efecto ocurre en las franjas de teka al año 16 (Figura 2, derecha).

Con la teka se observa (figura 2 derecha) que el año 0 representa un 38,10% seguido de los años 1, 8, 12 y 16, que coinciden con los años en que se planean raleos y cosecha final según el paquete tecnológico. Estos costos representan un 10,55 %, 8,47 %, 11,21 % y 7,09% del total respectivamente. Los años 1, 4 y 8 son relativamente caros, explicado por el mantenimiento inicial, el raleo y aprovechamiento de los árboles (en el caso de la teka).

En la figura 3 se puede apreciar el patrón de distribución del costo total de producción de madera en las franjas. La mano de obra representa un 41 a 43 % de los costos totales que corresponde con aproximadamente 22,4 jornales/ha en un periodo de ocho años (melina) y

29,45 jornales/ha en un ciclo de 16 años (teca). Esto equivale a un costo total de ₡ 314, 662 y ₡ 416,640 respectivamente. La cerca eléctrica ocupa el segundo costo mayor (21 a 26%), seguido por la preparación del suelo (15 a 19%) con un monto de ₡88 000 en melina y ₡152 000 en teca.

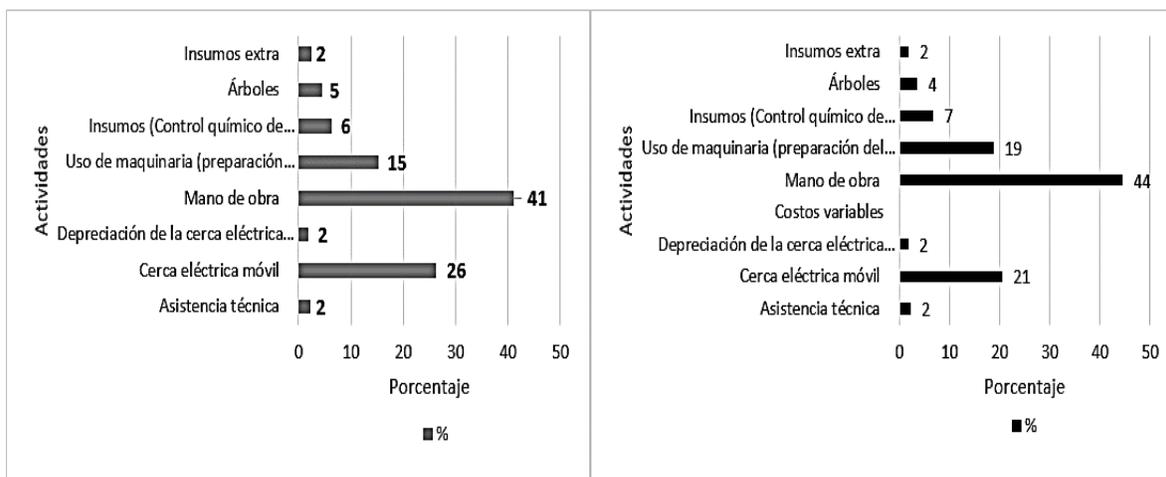


Figura 3. Distribución del costo de establecimiento de producción de madera en el modelo silvopastoril de alta inversión basado en melina (izquierda) y teca (derecha).

En los cuadros 5 y 6 se muestra la distribución del costo anual de mantenimiento y manejo de franjas de ambas especies del SSP de alta inversión. Se observa que nuevamente la mano de obra en los raleos y la cosecha final representan el rubro mayor (31 a 32%), seguido ahora por el control de malezas (13,75 a 15%). En general, el mantenimiento y manejo de las dos franjas/ha requiere de 16,4 jornales en melina y 23,6 en teca. El buen manejo inicial de la gramínea dentro del SSP propuesto, es fundamental para evitar la competencia con los árboles. La prospección para el control de plagas y enfermedades (8 y 10% de los costos) se concentra principalmente durante los primeros cinco años para prevenir el ataque o eliminar a tiempo el material infectado.

Cuadro 5. Costos de mano de obra para mantenimiento y manejo anual de franjas de melina en el modelo silvopastoril de alta inversión.

Actividad	Rendimiento (J)	Años										Cantidad	Mano de obra(J) Rend*Cant	Costos (€/ha)	%
		0	1	2	3	4	5	6	7	8					
Control de maleza con motoguadaña	0,15-0,50		2	2	2	1	1	1	1	1		11	2,25	31,834	13,75
Rodajea manual	0,40		2									2	0,80	11,319	4,89
Control químico de malezas	0,17		3	3	3	3	2	2	2			18	3,11	44,002	19,01
Fertilización	0,35		1									1	0,35	4,952	2,14
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0,10-0,28			1	1	1	1	1				5	1,30	18,393	7,95
Poda deshija	0,20		2									2	0,4	5,659	2,44
Poda de formación y recuperación de dominancia apical	0,50		2									2	1	14,148	6,11
Primera poda	0,30		1									1	0,3	4,245	1,83
Deshija o eliminación brote basal	0,30			1								1	0,3	3,537	1,53
Poda baja	0,50			1								1	0,5	7,074	3,06
Poda media	0,50				1							1	0,5	7,074	3,06
Poda alta	0,50					1						1	0,5	7,074	3,06
Raleos y cosecha final	0,10-1.7				1		1			1		3	5,10	72,157	31
Total													16,36	231,468	100

Cuadro 6.Costos de mano de obra para mantenimiento y manejo anual de franjas de teca en el modelo silvopastoril de alta inversión.

Actividad	Rendimiento (J)	Años													Cantidad	Mano de obra (J) Rend* Cant	Costo (¢ /ha)	%	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9-11	12	13-14	16					
Control de maleza motoguadaña	0,15-0,50		1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	15	3,60	50,935	15
Rodajea manual	0,40		2													2	0,80	11,319	3
Control químico maleza	0,10-0,18		3	3	3	3	2	2	2	2	3	1	2	1		27	4,77	67,488	20
Fertilización	0,20		1													1	0,20	2,830	1
Control Plagas y Enfermedades	0,20			1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1		14	2,28	32,259	10
Amarre de árboles (viento)	0,50		1													1	0,50	7,074	2
Poda o deshija (4-6 meses)	0,20		2													2	0,40	5,659	2
Poda (h = 1,5m)	0,30		1													1	0,30	4,245	1
Deshija	0,25			1												1	0,25	3,537	1
Repaso de Poda (150 árboles)	0,10-0,20				1	1	1	1	1	1						6	1,0	14,148	4
Poda baja (h = 2,5m)	0,50			1												1	0,5	7,074	2
Poda media (h =5 m)	0,50				1											1	0,5	7,074	2
Poda rama gruesa	0,30				1											1	0,3	3,820	1
Poda alta (h = 7,5m)	0,5					1										1	0,5	7,074	2
Control de rebrotes de tocón	0,2						1									1	0,2	2,830	1
Raleos y cosecha	0,10-0,75					1				1		1			1	4	7,50	106,114	32
Total																	23,6	333,480	100

Modelo silvopastoril de baja inversión (MBI)

Debe recordarse que en el modelo de baja inversión, los costos difieren en el tipo de cerca y en que no incluyen la preparación del terreno. El costo del jornal es levemente inferior por ser estimado con el pago voluntario de la seguridad social. Por tanto, los costos totales de mano de obra/ha si se planta melina son de ¢ 232 717, que corresponde aproximadamente a 16,6 jornales en un periodo de ocho años. Mientras que con teca se debe invertir aproximadamente ¢ 308 544/ha, que significan 21,8 jornales en un periodo de 16 años. En ambas especies, este costo representa el 45 % del total el modelo de baja inversión, similar en proporción al modelo de alta inversión. Por el uso de maquinaria para el aprovechamiento de los árboles en los raleos y la cosecha final, se requiere invertir un total de ¢80 000 y ¢144 000 (21 %) respectivamente. Finalmente, la instalación de la cerca viva tiene un costo de ¢67 052 (9%), que con la mano de obra llega a ¢80 032 (cuadro 4).

En el cuadro 7 se puede apreciar en detalle los costos totales/ha para los dos modelos propuestos (MAI y MBI).

Cuadro 7. Costos totales para los modelos silvopastoriles de alta y baja inversión basados en melina y teca.

Especies	MAI				MBI			
	Melina Ciclo corto de 8 años	%	Teca Ciclo medio de 16 años	%	Melina Ciclo corto 8 años	%	Teca Ciclo medio 16 años	%
Establecimiento (gestión + establecimiento + cercas)	372,987	49,6	372,987	38,6	215,133	39,51	215,133	30,1
Mantenimiento y manejo	299,493	39,7	450,552	46,6	250 105	45,83	355 414	49,7
Raleos y cosecha	80,000	10,6	144,000	14,9	80, 000	14,66	144,000	20,2
Total	752,480	100	967,539	100	545,739	100	714,548	100

*Los costos que se muestran en el cuadro 6 y 7 no incluye los costos actualizados de la cerca ni los costos de insumos.

Discusión

Los resultados de esta investigación indican que los costos totales de establecimiento para melina incluyendo las cercas, son de ¢372 987 para el modelo de alta inversión (MAI) y de ¢215 133 para el de baja inversión (MBI) con una diferencia de 45,6 % en los costos de establecimiento (cuadro 7). Esta diferencia se explica principalmente por el alto costo de instalar una cerca eléctrica, que representa un 20% de los costos de establecimiento del sistema silvopastoril. Sin embargo, si se deprecia el valor de la cerca y se prorroga entre el número de años de vida útil de la plantación forestal, su valor anual desciende considerablemente a tan solo ¢13 247/ha/año en el caso de plantaciones de melina y ¢16,560/ha/año en el caso de la teca. Si se compara con el MBI, claramente la relación de costos es mucho más favorable (50% de disminución) y se adapta mejor a las condiciones de pequeños y medianos productores, donde se aprovecha mejor los mismos recursos de la propiedad y posiblemente establezca las franjas de madera en las periferias de los potreros, para requerir el establecimiento de solamente la cerca interna del sistema silvopastoril. Adicionalmente, los costos de mano de obra son también menores, dado que se asume que el dueño de la propiedad paga su seguro voluntario.

Si se compara estos costos con los de establecimiento de plantaciones forestales regulares en bloque, con 833 árboles/ha (¢642 000, González 2014; ¢632 500, \$1100, Kottman 2013), puede apreciarse que los SSP MAI y MBI corresponden aproximadamente con un 50% y un 33% respectivamente. Si se toma en cuenta que más del 50% de los costos de establecimiento del SSP corresponden a las cercas, esta relación se reduciría a un 25 % y 17,5 %. Debe

también señalarse que un SSP es un concepto integrado entre producción forestal y ganadera. Por tanto, este costo de las cercas debería ser compartido entre ambas actividades.

Con estos resultados se podría también comparar los costos totales de establecer las franjas de madera en el SSP diseñado y en funcionamiento en la zona norte, vs los costos ordinarios de plantaciones forestales regulares. En el caso de la melina la relación sería de 150 árboles/ha en el SSP a 625/ha en bloque compacto. Significa que se requiere de 4,17 ha de SSP para plantar la misma cantidad de árboles. Pero los costos del modelo de alta inversión (MAI) son mayores en el SSP explicado por el costo de la cerca eléctrica. La relación sin actualizar ambos valores, sería de ¢752,480 del SSP/ ¢2 773 913 (González 2014), que equivaldría a un 27 % (3,7 veces). Es decir, para producir la misma cantidad de árboles se debe plantar 4,17 ha en SSP, pero costará ¢3 130 625 (un 13 % más caro). Si se analiza con los costos del modelo de baja inversión (MBI), la relación de costos es ahora positiva para el SSP. El costo de las 4,17 ha será ahora de ¢ 2 273 912, un 28 % más barato.

En el caso de la teca la relación del número de árboles es ahora de 5,55 ha de SSP para plantar los mismos 833 de la hectárea compacta. Pero los costos son ¢ 5 373 066, que significa un 41 % más caro que los ¢ 3 799 145 de la hectárea compacta (González 2014). En el modelo de baja inversión, sin embargo, los costos de las 5,55 ha del SSP con teca serán ahora de ¢ 3 968 123, que supera en apenas un 4% los costos de la hectárea compacta.

De los costos totales del sistema, la mano de obra es el rubro de mayor importancia con aproximadamente un 41 % y 44 % en melina y teca respectivamente (Figura 3). Los altos costos de mano de obra en el establecimiento del SSP, puede ser uno de los elementos que explican la baja adopción de estos sistemas (Villanueva et al. 2010). Sin embargo los SSP bien diseñados y manejados tienen un potencial para mejorar los indicadores económicos,

sociales, ambientales de las fincas ganaderas y del paisaje, fundamental para alcanzar una producción animal de forma sostenible (Villanueva et al. 2010; Ochoa y Valarezo 2014).

En el estudio de caso reportado por Souza (2002) se realizó un análisis de la contribución de los árboles en potreros a la rentabilidad de las fincas ganaderas. Se determinó que los costos totales/ha fueron de ₡1 318 800 (US \$ 2 355). Indica también que la mayor rentabilidad se alcanzó en fincas con sistemas de producción de doble propósito y carne.

Los resultados del estudio destacan la importancia de promover el uso de especies maderables de alto valor comercial, que permitan mejorar los ingresos de la finca. La estructura de costos realizada en la presente investigación tiene como principal objetivo generar información de cómo establecer modalidades intensivas de SSP.

Se considera que esta base de datos es suficientemente completa y comprende prácticamente todas las labores en que se incurren para establecer el componente forestal en un SSP. Se espera que motive a más ganaderos a incorporar el componente forestal con un enfoque productivo. La producción ganadera junto con la producción de madera pueden sumarse para convertirse en un buen negocio sostenible y contribuir con las metas carbono neutralidad del país.

Conclusiones

Los costos totales para producir madera en dos franjas/ha con 150 árboles en el modelo de alta inversión, se estimó en ₡ 752 480 (US \$ 1 320), en un ciclo de ocho años con melina. Mientras que con teca en un ciclo de 16 años, el costo total estimado fue de ₡ 967 539 (US \$1 697). Para el modelo de baja inversión los costos totales para melina son de ₡ 545 739 (US \$ 957) y para teca ₡ 714 548 (US \$1 253).

La base de datos generó información esperada con todas las labores y actividades necesarias para el establecimiento del modelo silvopastoril propuesto. Se logró determinar que el costo de mano de obra fue el rubro de mayor peso dentro de la estructura de costos seguidos por la cerca eléctrica y el aprovechamiento de los árboles en los raleos y la cosecha final.

Algunas de las barreras que influyen en el establecimiento de estos sistemas son la mano de obra y la asistencia técnica, aspectos relevantes y que deben ser tomados en cuenta para el establecimiento y manejo de estos sistemas, ya que la falta de acompañamiento al productor provoca el abandono del proyecto después de algunos años, debido a la intensidad con la que se deben de efectuar las actividades como control de gramíneas, podas y raleos.

Por lo tanto con la información generada se espera que el productor pueda conocer cuáles son las principales actividades que debe tomar en cuenta para establecer un SSP, con un componente forestal bajo un esquema productivo, donde los árboles sean considerados como un cultivo de madera. La información de la estructura de costos es fundamental para la toma de decisiones de cualquier actividad productiva, ya sea para incursionar en un negocio o, para el acceso al financiamiento. Por lo que se espera que con este trabajo se genere conocimiento que permitirá mejorar los mecanismos de financiamiento y fomento de esta opción de SSP dentro de fincas ganaderas.

Recomendaciones

Es importante continuar con las estimaciones del crecimiento de los árboles en las franjas de madera, ya que se espera una mayor tasa de productividad en su desarrollo por el efecto del espacio lateral abierto.

Será de sumo valor continuar con el diseño de opciones de incorporación espacial de árboles maderables dentro de la finca ganadera. De modo que se logre una mayor adopción de estos SSP productivos.

Agradecimientos

A los fondos interuniversitarios de investigación FEES/CONARE, al Programa GENFORES de la Escuela de Ingeniería Forestal y a la Escuela de Ingeniería en Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica, al Instituto de Investigaciones y Servicios Forestales de la Universidad Nacional, al Centro de Investigaciones en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica, por el apoyo financiero, material y humano en esta investigación.

Literatura

Casasola, F.; Ibrahim, M.; Sepúlveda, C.; Ríos, N.; Tobar, D. 2009. Implementación de sistemas silvopastoriles y el pago de servicios ambientales en Esparza, Costa Rica: una herramienta para la adaptación al cambio climático en fincas ganaderas. p. 169-188. En Ibrahim, M. & Sepúlveda, C. (eds.). Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. Centro Agronómico Tropical (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

CORFOGA (Corporación Ganadera). (2015). La ganadería sostenible en Costa Rica es una realidad. San José CR, CORFOGA .1 video.

FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura). (2013). Gran potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la ganadería San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/198166/icode/>

Gobbi, J A; Casasola, F.(2004) Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. Agroforestería en las Américas.10:39-60.

Gómez, M. & Quirós. (2001) Financiamiento de silvicultura de bosques latifoliados con énfasis en América Central 46:229.

González, E. (2014). Determinación del momento óptimo de cosecha final en una plantación de *Tectona grandis* de la zona norte de Costa Rica. Tesis Maestría Gestión de Rec. Naturales y Tecnologías de Producción. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

Gutiérrez, T. 2016. Costos de producción empobrecen a agricultores nacionales. CR Hoy. San José, Costa Rica. Enero 2011.

Ibrahim, M.; Chacón, M.; Cuartas, C.; Naranjo, J.; Ponce, G.; Vega, P.; Casasola, F.; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa aérea en sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. 45:27–36.

INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2014). VI Censo Nacional Agropecuario. San José, Costa Rica. Resultados Generales. mayo 2015. San José, Costa Rica. 147 p.

Kottman, F. 2013. Capítulo 20: PanAmerican Woods S.A. Costa Rica. En: De Camino, R.; Morales, J.P. (eds). Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades. Boletín Técnico 397. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 86-111 p.

Méndez, E.; Beer, J.; Faustino, J.; Otárola, A. (2000). Plantación de árboles en línea. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

MINAE, MAG, PNUD, (2013). Concepto de NAMA, Fincas ganaderas de Costa Rica, MINAE. San José, Costa Rica.

Mora, V. (2001). Pastoreo bajo plantaciones. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), San José, Costa Rica.

Murillo, O.; Paniagua, W.; Badilla, Y.; Rojas, A.; Arce, J.; Corea, E. (2013). Modelo silvopastoril orientado a la reducción de la huella de carbono y al aumento de la productividad económica. Proyecto interuniversitario CONARE. Cartago, Costa Rica.

Murillo, O.; Badilla, Y. (2015). Informe Final de Consultoría: Definición de una metodología de muestreo de contratos del programa de pago de servicios ambientales para la medición de la biomasa, para el desarrollo de proyectos de comercialización de créditos de carbono. FONAFIFO. San José, Costa Rica.

Murillo, O.; Badilla, Y.; Rojas, F.; Torres, G.; Carvajal, D.; Canessa, R. 2015a. Informe final de proyecto de investigación “Cultivo de especies maderables nativas de alto valor para

pequeños y medianos productores”. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica.

Murillo, O.; Leitón, M.; Ospino, M.; Badilla, Y. Paniagua, W.; Valverde, A. (2015). Hacia un nuevo sistema silvopastoril. San José, Costa Rica. Colegio de Ingenieros Agrónomos. Revista Germinar. Año 5 (Vol 17): 16-17.

Murillo, O.; Torres, G.; Carvajal, D.; Badilla, Y. (En prensa). Costos de producción de árboles de navidad (*Cupressus lusitanica* Mill.) en Costa Rica, Revista Agronomía Costarricense.

Murgueito, E.; Ibrahim, M. (2008). Ganadería y medio ambiente en América Latina, Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo. Fundación CIPAV. Cali, Colombia.

Murgueito, E. (2009). Incentivos para los sistemas silvopastoriles en América Latina. Revista Avances en investigación agropecuaria no 13(1): 3-18 p.

MTSS. (2016). Lista de salarios mínimos: Sector privado segundo semestre del 2016. San José, Costa Rica.

Ochoa,KD., Valerezo,JM. (2014).Caracterización y análisis de rentabilidad de los sistemas de producción ganaderos presentes en el cantón Yantzaza, Ecuador. Revista CEDAMAZ. No. 4(1): 76-85.

Omar, D.; Laércio, C. (1999). Agroforestería para la producción animal en América Latina, FAO, No 143, p 421-438.

Paniagua, W.; Mora, G.; Badilla, Y.; Murillo, O.; Rojas, A.; Campos, C.; Corea, E.; Ospino, M.; Lazo, G. (2015). Manual para el establecimiento de un Sistema Silvopastoril utilizando arboles maderables de alto valor económico. ITCR-UNA-UCR. San Carlos, Costa Rica.

Sánchez, F. (2001). Manual simplificado del cercado eléctrico: Guía sencilla para la selección, instalación, operación, mantenimiento de los cercos eléctricos operados con energía fotovoltaica. Chiapas, México.

Souza de Abreu,MH .(2002). Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and financial viability of livestock farms in humid tropics. PhD. Tesis. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Villanueva, C.; Ibrahim, M.; Murgueito, E. (2010). Producción y rentabilidad de sistemas silvopastoriles: Estudios de caso en América Central. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

2.2. Artículo 2. Análisis financiero y escenarios de financiamiento del componente forestal en un sistema silvopastoril.

Resumen

Para la construcción del análisis financiero se utilizó únicamente la información de teca y melina, por ser las dos especies de mayor tasa de plantación en el país y las que mantienen el paquete tecnológico de mayor evolución y desarrollo, basadas en el uso de clones de alto rendimiento. Se evaluó un modelo silvopastoril en franjas donde se plantaron tres hileras de árboles en distribución “tresbolillo o pata de gallo”, separadas por 2,5 m entre hileras y, dentro de cada hilera, los árboles se plantaron cada 4 m. Esto da como resultado tres hileras de 2,5 m x 4 m, que permiten plantar 75 árboles/franja en 100m de longitud. Todos los resultados se adaptaron a la unidad de hectárea.

La información financiera que evidencie la rentabilidad de estos sistemas es fundamental para promover el establecimiento de SSP; identificar cuáles son los mecanismos de financiamiento que se adecuen a los ciclos de producción de la actividad forestal como de cuáles son las tasas de interés que mejor se ajustan, y la rentabilidad para el modelo de alta inversión (MAI) y el de baja (MBI) de los modelos propuestos, son los principales resultados obtenidos en esta investigación. Los indicadores financieros obtenidos muestran un VAN de ₡ 1 131 349 (US\$ 1,984) con una R B/C de ₡ 2,68 y una TIR de 28,46 % en melina y para teca el VAN es de ₡ 889,628 (US\$ 1,560) con una R B/C de ₡ 2,41 y una TIR de 14,9% para el MAI. En cuanto al MBI se obtuvo un VAN para melina de ₡ 400,000 (US\$ 701) con una R B/C de ₡ 2,51 y una TIR de 27% y para teca un VAN de ₡ 378,495 (US\$ 664) con una R B/C de ₡ 1,70 y una TIR de ₡ 12,18 %.

Palabras clave: Análisis financiero, VAN, TIR, R B/C, Pago de servicios ambientales por resultados, Sistemas silvopastoriles

Introducción

El sector agropecuario de América latina y el Caribe contribuye significativamente en la producción de alimentos y en la seguridad alimentaria mundial (Anker 2017), sin embargo las practicas ganaderas tradicionales generan impactos negativos en el medio ambiente, como por ejemplo la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) producido por los sistemas intensivos de producción que contribuyen en la degradación de los suelos y deforestación (FAO 2013).

Por lo tanto actualmente los países en estas regiones buscan mejorar su capacidad de análisis y manejo de riesgos en el sector ganadero (Anker 2017). En Costa Rica se implementa la estrategia NAMA la cual busca alanzar una ganadería baja en carbono, en donde se concentra un esfuerzo a nivel público-privado que busca una transformación de la ganadería bovina para lograr que sea eco-competitiva, promoviendo el uso de prácticas, tecnologías y medidas dirigidas al desarrollo de una ganadería climáticamente inteligente, rentable y productiva y socialmente sostenible (MAG 2015).

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son sistemas complejos compuestos por componentes leñosos (árboles o arbustos), pasto y animales (Villanueva et al. 2010). Según el diseño y el manejo estos sistemas tienen potencial en términos de productividad y ambiente que permiten mejorar los indicadores socioeconómicos de las fincas ganaderas. Sin embargo a pesar de los múltiples beneficios que ofrecen estos sistemas, su adopción ha sido baja debido a la falta de capital y conocimiento técnico para el establecimiento y manejo de los SSP (Alonzo et al. 2001)

En este artículo se realizó un análisis financiero de un modelo de sistema silvopastoril el cual consiste en un diseño en donde se establecen dos franjas distanciadas cada 50 metros entre sí en donde se plantan los árboles en tres hileras en una distribución “tresbolillo o pata de gallo”, separadas por 2,5 m entre hileras y, dentro de cada hilera, los árboles se plantan cada 4 m. Esto da como resultado tres hileras internas por franja, con un espaciamiento de 2,5 m x 4 m, que permiten albergar un total de 75 árboles/franja o también, 150 árboles/ha en producción de madera (Murillo et.al 2015). Se evaluó la rentabilidad por medio de los indicadores financieros valor actual neto (VAN), relación beneficio costo (B/C) y la tasa interna de retorno (TIR), además se analizaron cuatro posibles escenarios de financiamiento para

determinar cuál es la opción más adecuada para la implementación de este modelo en las fincas ganaderas.

Metodología

El estudio se desarrolló en la finca del Instituto Tecnológico de Costa Rica, localizada en La Vega, distrito de Florencia, San Carlos, zona norte del país. Se estableció un sistema silvopastoril (SSP) en donde el componente forestal tenía como principal objetivo la producción de madera con carácter comercial. Se establecieron franjas con árboles de varias especies, de 7 m de ancho cada una y separadas cada 50m entre sí (Murillo et al. 2013).

Para la construcción del análisis financiero se utilizó únicamente la información de teca y melina, por ser las dos especies de mayor tasa de plantación en el país y las que mantienen el paquete tecnológico de mayor evolución y desarrollo, basadas en el uso de clones de alto rendimiento. Dentro de cada franja se plantaron tres hileras de árboles en distribución “tresbolillo o pata de gallo”, separadas por 2,5 m entre hileras y, dentro de cada hilera, los árboles se plantaron cada 4 m. Esto da como resultado tres hileras de 2,5 m x 4 m, que permiten plantar 75 árboles/franja en 100m de longitud. En la modalidad más intensiva se establecen dos franjas/ha (distanciadas en 50m), que permite plantar 150 árboles/ha en producción de madera (Murillo et al. 2015).

Para facilidad de comparación y análisis, el modelo fue adaptado a la unidad de una hectárea. En la medida de lo posible, las franjas se establecen con una dirección este-oeste para reducir sombrero hacia la zona de pasto, con lo que es posible establecer así dos franjas de 700 m² cada una (1400 m² ó también 14% en una hectárea) bajo producción de madera (Paniagua et al. 2015).

Basado en el modelo de costos de sistema silvopastoril (SSP) propuesto por Ospino *et al.* (2017), se estableció una proyección de ingresos esperados, estimados a partir del modelo de crecimiento y rendimiento de plantaciones clonales de melina y teca en el país (Quirós, 2015). Con base en estas estimaciones se construyeron los cuadros de volumen comercial esperado (m³/ha) y los respectivos flujos de ingresos a ser obtenidos, producto de los raleos y cosecha final como se muestra en los cuadros 1 y 4.

Se construyeron los flujos de caja para un modelo de alta inversión (MAI), que consiste en dos franjas de madera/ha, así como para un modelo de baja inversión (MBI) más afín para pequeños y medianos ganaderos. Los ciclos de producción se fijaron en ocho años para melina y 16 años para teca.

Para el modelo de baja inversión se realizó una diferenciación en los ingresos, en donde se estimó una disminución en un 20% en el DAP, altura comercial y volumen comercial, basados en el supuesto de que en la mayor parte de las plantaciones forestales, el uso anterior del suelo y su preparación mecanizada, son elementos que explican una mayor productividad de la plantación forestal (Arce 2015). Particularmente evidente en sitios con sobreexplotación ganadera, con prácticas de quema frecuentes, mal manejo de pastos en general. Con la preparación mecanizada del terreno se busca controlar la vegetación existente (principalmente gramínea) para disminuir la competencia con los árboles y mejorar las propiedades físicas (compactación y drenaje) del suelo, que aseguren el crecimiento adecuado según los requerimientos por especie (Alvarado y Mata 2013).

Los precios promedio para la venta de la madera en pie utilizados se tomaron del reporte del 2016 de la Oficina Nacional Forestal (ONF), según categoría diamétrica (ONF, 2016).

Por lo general se utiliza un valor de 362 pulgas madereras ticas (PMT) como conversión por metro cúbico. Sin embargo, dado que no toda la madera en plantación tiene características de valor comercial (Murillo, Badilla y Rojas 2011), se aplicó una penalización por la presencia de nudos o por rajaduras, médula o "corcho interno" y mala rectitud del fuste, tal y como lo sugiere la metodología de calidad de plantaciones (Murillo 2015). Se utilizó una relación de conversión de 320 PMT/m³, tal y como lo sugiere Alfaro (2002), con el propósito de evitar sobreestimar los ingresos esperados en la cosecha final.

Para realizar el análisis financiero, los ingresos esperados fueron proyectados a valor futuro con base en una tasa de interés del 6%, que es la tasa a la cual presta el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO)

Para evaluar la rentabilidad en plantaciones forestales es necesario utilizar indicadores basados en los costos y beneficios actualizados, debido a los plazos largos de los análisis, en los cuales pueden ocurrir cambios en el tiempo (CATIE 2001). Se calcularon los indicadores

financieros como el valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y relación beneficio costo (B/C).

Con el propósito de mejorar el diseño de los sistemas de financiamiento que ofrece el FONAFIFO, se evaluaron cuatro posibles escenarios financieros de fomento de SSP, dirigidos principalmente a medianos y pequeños productores. En el primer escenario se analizó la utilización de la tasa básica pasiva; la cual es un promedio ponderado de las tasas de interés de captación brutas en colones, negociadas por los intermediarios financieros residentes en el país (Banco central de Costa Rica 2008). Esta tasa representa cuánto sería la ganancia que se recibiría por año al tener el dinero ahorrado en una entidad bancaria.

Para los escenarios dos y tres se utilizó como tasa el 6 % y 8 %, que corresponde con las tasas de interés a las cuales presta actualmente el FONAFIFO en sus sistemas de crédito forestal (Hernández et al. 2016).

Finalmente en el cuarto escenario se utilizó una combinación del sistema de crédito asociado con el denominado Pago por Servicios Ambientales por Resultados (PSAR). En esta modalidad se evalúa una tasa de interés del 6 %, con la posibilidad de cancelar el préstamo en un plazo de diez años. El crédito financia el establecimiento de los 150 árboles/ha en el año cero y durante los primeros tres años de mantenimiento (FONAFIFO y MINAE 2016). En el escenario IV el monto por árbol que paga el FONAFIFO en la modalidad de sistema agroforestal es de ₡3, 500 (US\$ 6.14) (ONF, 2016). Mientras que el crédito que se otorga en el año tres es de ₡528 542/ha (US\$ 927), que cubre los costos de establecimiento y mantenimiento de este período. El dinero del PSA junto con los ingresos de los raleos y cosecha, son utilizados para pagar los intereses del crédito.

El PSAR ingresa financieramente en tres desembolsos, el primer tracto del 65% para la preparación inicial, establecimiento, mantenimiento y poda en el primer año; el segundo del 20% para el mantenimiento y poda de los árboles durante el segundo año; y el último del 15% para el mantenimiento y manejo de los árboles durante el tercer año.

Resultados

La información financiera generada se organizó por separado para teca y melina, tanto para modelos SSP de alta como de baja inversión.

Modelo de alta inversión (MAI)

Para el análisis del SSP de alta inversión con franjas de melina, los costos se mantuvieron constantes durante todo el ciclo de producción. Mientras que los ingresos se registraron en los años tres y cinco, conforme se ejecutan los raleos (cuadro 1).

Cuadro 1. Ingresos esperados por la madera de melina (*Gmelina arborea*) y teca (*Tectona grandis*) en un sistema silvopastoril de alta inversión, basado en dos franjas de madera/ha (Murillo, 2017).

	I raleo	II Raleo	III Raleo	Cosecha Final	Total
Melina					
Año	3	5		8	
No de árboles	75	38		37	150
m³/ha	5,75	17,7		39,5	63
¢/ha	206,850	679,460		1 791,760	2 678,060
Teca					
Año	4	8	12	16	
No de árboles	60	36	27	27	150
m³/ha	2,0	4,0	7,3	24,8	38,0
¢/ha	50,250	252,560	752,470	3 264,230	4 319,500

*Ingresos sin actualizar

Con las franjas de melina los dos primeros raleos registran costos menores que los ingresos, por lo que el ingreso neto esperado del primer raleo es de ¢152,870 (US\$ 268) y ¢599,398 (US\$ 1,051) del segundo raleo. Se estima que el ingreso neto total esperado en un ciclo de ocho años será de ¢2, 474,117 (US\$ 4,340). En cuanto al VAN y la R B/C estos fueron positivos en todos los casos, mientras que la TIR es mayor a la tasa de descuento evaluada del 6% (Cuadro 2).

En teca los ingresos netos son negativos debido a que el primer raleo efectuado en el año cuatro no cubre los costos totales. Para los siguientes raleos los ingresos netos son positivos, por lo que se estima recibir una ganancia neta de ¢171,229 (US\$ 300) al año ocho y ¢664,776

(US\$ 1,166) en el año doce. Mientras que en la cosecha final se espera obtener un ingreso neto de ¢3 196 115 (US\$ 5607). Los indicadores financieros respectivos de teca se muestran en el cuadro 3

Cuadro 2. Flujo de caja de la producción de madera en dos franjas de melina (*Gmelina arborea*)/ha, en sistemas silvopastoriles de alta inversión (MAI), en la zona norte de Costa Rica (1US\$ = ₡575, junio 2017).

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Total (₡/ha)	Total (US\$)
Costos	372,987	84,616	34,168	53,976	28,509	80,058	15,544	12,714	69,908	752,480	1,297
Costos actualizados	372,987	79,827	30,409	45,319	22,582	59,824	10,958	8,456	43,861	674,222	1,162
Ingresos				206,850		679,460			1,791,760	2,678,060	4,617
Ingreso actualizado				173,671		507,729			1,124,171	1,805,572	3,113
Ingreso neto	- 372,987	-84,616	-34,168	152,870	-28,509	599,398	-15,544	-12,714	1,721,850	2,474,117	4,265
Ing. actualizado Neto	- 372,987	-79,827	-30,409	128,352	-22,582	447,905	-10,958	-8,456	1,080,310	1,656,567	2,856
Indicadores financieros		VAN	₡1,131,349 US\$ 1,950		R B/C	₡ 2,68		TIR	28,46 %		

Cuadro 3. Flujo de caja de la producción de madera en dos franjas de teca (*Tectona grandis*)/ha, en sistemas silvopastoriles de alta inversión (MAI), en la zona norte de Costa Rica (1US\$ = ₡575, junio 2017).

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total (₡/ha)	Total (US\$)
Costos	372,987	101,330	34,027	36,149	56,664	21,524	18,694	14,450	81,332	11,143	11,143	9,487	107,694	6,658	6,658	9,487	68,111	967,539	1,668
Costo actualizado	372,987	95,594	30,284	30,351	44,884	16,084	13,179	9,610	51,029	6,596	6,222	4,998	53,520	3,121	2,945	3,959	26,812	772,174	1,331
Ingresos					50,249				252,561				752,470				3,264,227	4,319,506	7447
Ingreso actualizado					39,802				158,460				373,955				1,284,951	1,857,167	3,202
Ingreso neto	-	-	-34,027	-	-6,416	-	-	-	171,229	-	-	-	644,776	-	-	-	3,196,115	4,012,121	6917
Ing. neto actualizado	-	-95,594	-30,284	-	-5,082	-	-	-9,610	107,431	-6,596	-6,222	-	320,434	-	-	-	1,258,139	1,686,004	2,906
Indicadores financieros	₡889,62 VAN 8 US\$ 1533 R B/C 2,41 TIR 14,49%																		

Modelo de Baja Inversión (MBI)

En el cuadro 4 se muestra el modelo de ingresos esperados en franjas de teca y melina en sistemas silvopastoriles, para un modelo de baja inversión.

Cuadro 4. Ingresos esperados por venta de madera en franjas de melina (*Gmelina arborea*) y teca (*Tectona grandis*) en sistemas silvopastoriles en Costa Rica, para el modelo de baja inversión (Murillo, 2017).

	I raleo	II Raleo	III Raleo	Cosecha Final	Total
Melina					
Año	3	5		8	
No. de árboles	75	38		37	150
m³/ha	2,94	9,06		28,3	40,3
¢/ha	101,490	333,385		1 437,030	1 871,900
Teca					
No. de arboles	60	36	27	27	150
Año	4	8	12	16	
m³/ha	0,53	1,99	3,29	14,260	20,07
¢/ha	13,430	125,910	338,870	1 880,630	2 358,840

*Ingresos sin actualizar

Los resultados del flujo de caja para el MBI con melina se muestran en el cuadro 5. El ingreso neto esperado del primer raleo (año tres) es de ¢55,459/ha (US\$ 97). Mientras que con el segundo raleo (año cinco) se estima en ¢260,285 (US\$ 456). Para la cosecha final se estima que la ganancia neta total será de ¢1 372 713 (US\$ 2,407). Por lo que se espera recibir un total neto de ¢1, 688,457/ha (US\$ 2,962) en un ciclo de producción de ocho años. Los indicadores financieros VAN y RB/C también registraron valores positivos para este modelo, así como la TIR, con un valor superior a la tasa de descuento evaluada del 6% (Cuadro 5).

Con teca los resultados del flujo de ingresos netos son similares al del modelo de alta inversión, donde los costos del primer raleo (año cuatro) son mayores que la ganancia esperada. Mientras que para el segundo (año ocho) y tercer raleo (año doce) se estima un ingreso neto de ₡51,673 (US\$ 90) y de ₡239,339 (US\$ 419) respectivamente. Para la cosecha final se estima un ingreso total de ₡1 817 128 (US\$ 3187) por tanto, el ingreso neto total durante el ciclo de producción de 16 años será de ₡2 108 140/ha (US\$ 3,698). Los indicadores financieros respectivos se pueden observar en detalle en el cuadro 6.

Cuadro 5.Flujo de caja para el financiamiento de franjas de melina (Gmelina arborea) clonal en SSP de baja inversión (MBI) en la zona norte de Costa Rica (1US\$ = ₡575, junio 2017).

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Total (₡/ha)	Total (US\$)
Costos	215,633	57,269	40,910	46,034	23,263	73,101	13,746	11,469	64,314	545,739	940
Costo actualizado	215,633	54,027	36,410	38,651	18,426	54,625	9,690	7,627	40,351	475,442	819
Ingresos				101,492		333,386			1,437,027	1,871,906	3,227
Ingreso actualizado				85,215		249,126			901,609	1,235,949	2,130
Ingreso neto	-215,633	-57,269	-40,910	55,459	-23,263	260,285	-13,746	-11,469	1,372,713	1,688,457	2,911
Ingreso neto actualizado	215,633	-54,027	-36,410	46,564	-18,426	194,500	-9,690	-7,627	861,257	1,102,322	1,900
Indicadores financieros	VAN	₡400,00		R B/C	2,51	TIR		27,55			
		US\$ 689									

Cuadro 6. Flujo de caja para el financiamiento de franjas de teca (*Tectona grandis*) clonal en SSP de baja inversión (MBI) en la zona norte de Costa Rica (1US\$ = ₡575, junio 2017).

Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Total (₡/ha)	Total (US\$)
Costos	215,133	56,586	28,956	31,802	46,603	18,300	17,162	12,607	74,240	9,113	9,113	9,113	99,527	6,836	6,836	9,113	63,506	714,548	1,231
Costo actualizado	215,133	53,383	25,770	26,702	36,914	13,675	12,098	8,385	46,579	5,394	5,089	4,801	49,462	3,205	3,024	3,803	24,999	538,415	928
Ingresos					13,428				125,913				338,866				1,880,634	2,358,840	4,066
Ingreso actualizado					10,636				78,999				168,406				658,868	916,909	1,580
Ing.neto	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	239,339	-	-	-	1,817,128	2,108,140	3,634
Ing.neto actualizado	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	118,944	-	-	-	633,870	785,234	1,353
Indicadores financieros	VAN (₡)	378,495																	
		US\$																	
		652																	
			R B/C	1,70															
							TIR	12,18											
								%											

En el cuadro 7 se muestran los resultados del análisis financiero de los cuatro escenarios de financiamiento propuestos. Se puede observar que el escenario IV es el que obtiene mejores resultados al combinar el PSA por resultados con el sistema de financiamiento de crédito. Al comparar el escenario II con el III, el crédito con una tasa de interés del 6% es la que genera un VAN y una R B/C más atractiva. Lo que indica que ambos escenarios son capaces de devolver la inversión inicial, pagar el 6 % o el 8% de la tasa de interés y generar una ganancia al productor.

En cuanto a la TIR los resultados indican que en los escenarios II, III y IV los valores registrados superan ampliamente las tasas de referencia del 6 y 8%. Se observa también que con melina, la tasa máxima de financiamiento (24%) duplica a la de teca (12%).

Cuadro 7. Escenarios de financiamiento para el establecimiento de franjas de madera con melina y teca en sistemas silvopastoriles de alta inversión, zona norte de Costa Rica

	Escenarios	I	II	III	IV
	Parámetro	Tasa básica pasiva	Crédito I FONAFIFO	Crédito II FONAFIFO	Crédito III FONAFIFO + PSA por resultados
	Tasa de interés (%)	5	6	8	6
	Desembolsos (años)	-	3	4	3-4
	Pago del capital (años)	-	1-10	1-10	7-12
Melina	VAN (₡)	-	945,008	833,313	1 186 619
	US(\$)	-	1,657	1,461	2,081
	R B/C	-	1,5	1,9	1,9
	TIR	-	23%	16%	25%
Teca	VAN (₡)	-	1, 036 048	972,626	1, 221 689
	US(\$)	-	1,817	1,706	2,143
	R B/C	-	1,4	1,1	1,07
	TIR	-	7%	6%	20%

Discusión

En la zona de Fortuna de San Carlos, Souza (2002) reporta una investigación sobre la rentabilidad de un SSP, basado en árboles dispersos en potreros, con las especies *Cedrela Odorata L.* y *Cordia Alliodora* (Ruiz & Pav.). Los indicadores financieros dan como resultado valores del VAN de ₡ 55,860/ha (US\$ 98), con una relación B/C de US\$ 1,09 (Souza 2002). Suárez (2009) reporta los indicadores financieros en un SSP con *Brachiaria brizanta* y *Arachis pintoii* en Nicaragua, donde determinan que el VAN es de ₡ 315,780 (US\$ 554,71) y una TIR de 29,34 %. En contraste, en este estudio los valores de los indicadores financieros superan en general los reportados por otros investigadores, donde el valor actual neto de los modelos evaluados registra ₡1, 131,349 (US\$ 1,950) en el MAI y ₡400,000 (US\$ 689) para el MBI del SSP basado en melina. Mientras que con teca se obtuvo un VAN de ₡889,628 (US\$ 1,533) en el MAI y ₡378,495 (US\$ 652) para el MBI.

Sin embargo, estos resultados no son comparables, debido al análisis basado en modalidades diferentes de SSP (árboles dispersos en potrero vs plantados en franjas). Además, en esta investigación se trabajó con especies exóticas de alta productividad (teca y melina), con un paquete tecnológico sumamente elaborado y basado en clones de alto rendimiento en campo. En el caso del SSP realizado por Suarez (2009) con base en la especie forrajera *Arachis pintoii*, conocida como maní mejorador, reporta mejores resultados en VAN que el modelo de Souza (2002). Posiblemente explicado por su condición de cobertura vegetal y facilidad de adaptación a suelos ácidos (Lobo y Cruz 1994).

Un estudio realizado por el INTA de Argentina se reporta una comparación de resultados financieros y económicos de proyectos forestales, ganaderos y silvopastoriles en la región de Misiones (Colcombet et.al, 2010). Los principales resultados obtenidos del SSP mixto con base en *Pinus tadea*, reportan una rentabilidad con una tasa interna de retorno de 17%. Concluyeron también que el acompañamiento de la actividad forestal con la ganadería genera mayores ingresos al productor, al combinar la actividad ganadera y orientar la producción forestal para obtener árboles de mayor calidad (Argentina Forestal, 2010).

Al compararse los resultados del MAI y el MBI la melina duplica los valores registrados por la teca (27 y 28% vs 12 y 14 %). Estas diferencias se explican por la mayor tasa de

crecimiento y productividad de la melina (Ávila et al., 2017) así como por el menor ciclo de producción de la melina (dos raleos y cosecha en ocho años, vs tres raleos y cosecha al año 16 en teca).

A pesar de que el precio de la teca es mayor en el mercado nacional e internacional, la mayor productividad de la melina y su ciclo más corto, repercuten en los indicadores financieros. Al actualizar los ingresos esperados e incrementar los años en la función de valor presente (VAN), su valor disminuye los ingresos al reducir el factor de actualización Sin embargo, la rentabilidad analizada para las dos especies, tanto en su modalidad de Baja Inversión como en la de Alta Inversión, es positiva y genera ingresos al productor. No obstante, es esencial considerar cuales especies son las más adecuadas y de mayor aceptación por parte de los productores ganaderos.

El arreglo de la plantación es otro aspecto que se toma en cuenta para regular la interferencia de la luz ejercida por los árboles. Al sembrar en hileras dobles o en franjas de tres a cinco hileras, utilizando un espaciamiento amplio entre las franjas, es posible mantener la densidad de los árboles y el pasto dentro de la franja (Pezo y Ibrahim, 1999).

La resistencia de los productores para la implementación de sistemas silvopastoriles está relacionada con los elevados costos iniciales para su establecimiento, los costos de oportunidad asociados con periodos largos en que los ciclos de producción comienzan a generar productividad y la rentabilidad limitada que presentan la mayoría de los mismos (Ibrahim et al. 2017). Estudios preliminares sobre la rentabilidad de la incorporación de sistemas silvopastoriles en Costa Rica muestran que dependiendo de la tecnología silvopastoril se requieren inversiones iniciales de entre US\$215 y US\$660 por hectárea, se debe esperar entre seis meses y un año para que el sistema comience a producir, y se obtienen retornos de entre 8 y 17 por ciento (Gobbi y Casasola 2005). A estas restricciones se les agrega la limitante de los productores para obtener crédito destinado a incorporar sistemas silvopastoriles, ya que los créditos están generalmente disponibles para propósitos específicos (incorporación de pasturas mejoradas, compra de equipos) y se piden requisitos que son difíciles de cumplir para los finqueros (Ibrahim et al. 2017).

La falta de mecanismos de financiamiento y de análisis financieros que demuestren la rentabilidad de los SSP limita su adopción (Villanueva et.al, 2010). Esto motivó la realización de esta investigación, que incluyera análisis de sensibilidad y de evaluación de cuatro posibles escenarios de financiamiento, en donde el escenario IV, que combina el crédito con un PSA por resultados, fue el que registró los valores más altos en todos los indicadores financieros.

Una de las principales barreras para el establecimiento de estos modelos es el financiamiento. Es esencial desarrollar sistemas que se adapten a los ciclos de producción forestal, en donde los ingresos se reciben en un largo plazo. El uso del mejor paquete tecnológico debe ser uno de los elementos de mayor relevancia para garantizar los resultados obtenidos en este estudio. El uso de clones de alto rendimiento debe ser uno de los criterios base para el desarrollo de estos SSP.

Es importante también generar estrategias de financiamiento que estimulen la participación del sector ganadero en estas opciones de producción forestal. El componente arbóreo dentro de una finca ganadera puede ofrecer múltiples servicios ambientales, adicionales a la madera. Una adecuada cantidad de árboles/ha en distintas modalidades SSP, permitiría que la ganadería en el país se situara en la corriente de actividades económicas carbono neutrales. Debe recordarse que la ganadería en el país, representa más de un millón de ha y en su mayoría, generan emisiones importantes de gas invernadero.

Conclusiones

El diseño de SSP en franjas de producción de madera, registró una alta rentabilidad en todos los indicadores financieros para teca y melina.

Los indicadores financieros muestran un VAN de ¢ 1, 131,349 (US\$ 1,984) con una R B/C de ¢ 2,68 y una TIR de 28,46 % en melina y para teca el VAN es de ¢ 889,628 (US\$ 1,560) con una R B/C de ¢ 2,41 y una TIR de 14,9% para el MAI. En cuanto al MBI se obtuvo un VAN para melina de ¢ 400,000 (US\$ 701) con una R B/C de ¢ 2,51 y una TIR de 27% y para teca un VAN de ¢ 378,495 (US\$ 664) con una R B/C de ¢ 1,70 y una TIR de ¢ 12,18 %.

El resultado del análisis financiero muestra según los indicadores utilizados que el VAN es positivo y mayor que cero en los dos modelos evaluados, además la R B/C es mayor a uno y la TIR es superior a la tasa de interés evaluada en todos los escenarios.

El uso de especies alternativas pueden ser opciones para mejorar los ingresos al productor por medio de la combinación de especies forrajeras o agrícolas que permitan mantener un flujo de caja constante, permitiendo el desarrollo de los árboles en donde las ganancias se reciben a largo plazo y en los periodos establecidos para realizar los raleos y la cosecha final.

El escenario de financiamiento PSA por resultados unido con un sistema de crédito al 6%, fue el que obtuvo los mejores indicadores financieros.

Agradecimiento

Esta investigación formó parte de un proyecto interuniversitario (FEES), “Modelo silvopastoril orientado a la reducción de la huella de carbono y al aumento de la productividad económica”. Además conto con toda la colaboración de la Corporación Ganadera (CORFOGA), la Escuela Técnica Agrícola e Industrial (ETAI), Colegio Agropecuario de Santa Clara, el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), al Dr. William Corrales y a Sergio Molina Murillo Escuela de Ciencias Ambientales UNA.

Literatura

Alfaro, M. (2002). Los sistemas de medición de madera. Desde el bosque. Cámara costarricense forestal. San José, CR.p 11-13 p.

Alfonzo, Y; Ibrahim, M; Gómez, M; Prins, K.(2001). Potencial y limitaciones para la adopción de sistemas silvopastoriles para la producción de leche en Cayo, Belice. Agroforesteria de las Américas 8 (30):21-27.

Alvarado, A.; Mata, R. (2013). Condiciones de sitio y la silvicultura de la teca. In Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades; De Camino, R.; Morales J.P. (eds) Memoria de la reunión técnica realizada en Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Serie Técnica, Informe Técnico No. 397. pp 54-83

Anker, P. (2017). Producción animal. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Recuperado de <http://www.fao.org/animal-production/es/>.

Arce. (2015). Teca (*Tectona grandis* L. f.): condiciones para su cultivo “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”. Banco Mundial, Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) y Oficina Nacional Forestal (ONF). Moravia, San José, CR.

Argentina Forestal. (2010). Los-sistemas silvopastoriles logran-mayor rentabilidad que la ganadería o forestaciones puras. Recuperado de <http://www.argentinaforestal.com/actualidad/politica-y-economia/24-general/5673-los-sistemas-silvopastoriles-logran-mayor-rentabilidad-que-la-ganaderia-o-forestaciones-puras>

Ávila, Carlos; Murillo, Rafael; Murillo, Olman. (2015). Selección de clones superiores de dos conjuntos genéticos de *Gmelina arborea* en el Pacífico sur de Costa Rica. Revista de Ciencias Ambientales Vol 49(1): 17-35.

Arce, H. (2015). Teca (*Tectona grandis* L. f.): condiciones para su cultivo “Fomento de la reforestación comercial para la mejora y conservación de las reservas de carbono”. Banco Mundial, Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) y Oficina Nacional Forestal (ONF). Moravia, San José, CR.

BCCR (Banco central de Costa Rica). (2008). Metodología para el cálculo de la tasa básica pasiva. Recuperado de <http://indicadoreseconomicos.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Documentos/Documentos%20MetodologiasNotasTecnicas/Metodolog%C3%ADa%20de%20c%C3%A1lculo%20Tasa%20B%C3%A1sica.HTM>.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). (2001).Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Turrialba CR. (Serie técnica CATIE no. 46).

Colcombet, I; Crechi, E;Keller, A; Pachas, N;Fassola, H; Lacorte, S;Esquivel,J.(2010).Comparación preliminar de resultados financieros y económicos de proyectos forestales, ganaderos y silvopastoriles en misiones. Instituto Nacional de

tecnología agropecuaria). Recuperado de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-resultados-financieros-economicos.pdf>.

FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura). (2013). Gran potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la ganadería. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Disponible en <http://www.fao.org/news/story/es/item/198166/icode/>.

FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal); MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía). (2016). Presentan nueva modalidad de pago por servicios ambientales. Recuperado de http://www.fonafifo.go.cr/actualidad/noticias/ultimasnoticias/Modalidad_PPSA.pdf.

Gobi, JA; Casasola,F.(2004). Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. Agroforesteria de las Américas. 10(39-40).

Hernández, H; Chacón, Chacón; Espinoza, J. (2016). Programa de crédito del FONAFIFO: Alternativas de financiamiento para el desarrollo forestal sostenible. FONAFIFO (Fondo Nacional de Financiamiento Forestal). San José, CR.

Lobo, M;Cruz,A. (1994) Leguminosas forrajeras, Maní mejorador *Arachis pintoii* CIAT 17434. Misnisterio de Agricultura. San José, CR.

MAG (Ministerio de agricultura y ganadería). (2015). Ministerio de agricultura y ganadería y Fundación para la cooperación internacional. Recuperado de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00366.pdf>.

Murillo, O.; Leitón, M.; Ospino, M.; Badilla, Y. Paniagua, W.; Valverde, A. (2015). Hacia un nuevo sistema silvopastoril. San José, Costa Rica. Colegio de Ingenieros Agrónomos. Revista Germinar. Año 5 (Vol 17): 16-17.

Murillo, O.; Badilla, Y.; Rojas, F.; Torres, G.; Carvajal, D.; Canessa, R. (2015). Informe final de proyecto de investigación “Cultivo de especies maderables nativas de alto valor para

pequeños y medianos productores”. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica

Murillo, O. (2015). Metodología para la Valuación de plantaciones forestales: Encuentro Nacional de Avalúos de Colombia. Medellín, Colombia. 27-28 de mayo, 2015.

Murillo, O; Paniagua, W; Badilla, Y; Rojas, A; Arce, JA; Corea, E.(2013). Modelo silvopastoril orientado a la reducción de la huella de carbono y al aumento de la productividad económica. Proyecto de CONARE. Cartago, CR.

Murillo, O.; Badilla, Y.; Rojas, F. (2011). Calidad de las plantaciones de teca en Costa Rica. En: Conferencia Forestal Internacional: Bosques plantados de teca. Teaknet. 31 octubre al 3 de noviembre, 2011. San José, Costa Rica.

ONF (Oficina Nacional Forestal). (2016). Precios de la madera en Costa Rica para el primer semestre del 2016 y tendencias de las principales especies comercializadas. Recuperado de <http://www.onfcr.org/media/uploads/documents/precios-de-la-madera-en-costa-rica-2016.pdf>.

ONF (Oficina Nacional Forestal). (2016). Nueva modalidad de pago por servicios ambientales. Recuperado de <http://onfcr.org/article/nueva-modalidad-de-pago-por-servicios-ambientales/>

Ospino, M. (2018). Costos de producción de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) en un sistema silvopastoril de la zona norte de Costa Rica. Universidad Nacional, Instituto tecnológico de Costa Rica, Universidad de Costa Rica. (No publicado)

Paniagua, W.; Mora, G.; Badilla, Y.; Murillo, O.; Rojas, A.; Campos, C.; Corea, E.; Ospino, M.; Lazo, G. (2015). Manual para el establecimiento de un Sistema Silvopastoril utilizando arboles maderables de alto valor económico. ITCR-UNA-UCR. San Carlos, Costa Rica.

Pezo, D; Ibrahim, M.(1998). Proyecto agroforestal CATIE/GTZ. Colección de módulos de enseñanza agroforestal No 2: Sistemas silvopastoriles. CATIE. Turrialba, CR.

Quirós, Sofía. (2015). Modelos de crecimiento y rendimiento para plantaciones clonales de melina (*Gmelina arborea* Roxb.) en Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 75 p.

Souza de Abreu, MH. (2002). Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and the financial viability of livestock farms in the humid tropics. (Tesis de doctorado). CATIE. Turrialba, CR.

Villanueva, C.; Ibrahim, M.; Murgueito, E. (2010). Producción y rentabilidad de sistemas silvopastoriles: Estudios de caso en América Central. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Ibrahim, M; Gobbi, J; Casasola, F; Chacón, M; Ríos, N; Tobar, D; Villanueva, C; Sepúlveda, C. (2017). Enfoques alternativos de pagos por servicios ambientales: Experiencia del proyecto silvopastoril. Recuperado de <http://siteresources.worldbank.org/INTEEI/Resources/CostaRica-15-Silvopastoral.pdf>

2.2. Artículo 2. Costos de producción de teca (*Tectona grandis*) y melina (*Gmelina arborea*) en un sistema silvopastoril de la zona norte de Costa Rica.

Resumen

A pesar de la experiencia que se ha generado sobre modalidades de sistemas silvopastoriles, la ausencia de información económica constituye una de sus barreras para su fomento. El componente forestal, tradicionalmente no ha contribuido económicamente con la económica de la finca ganadera. En este estudio se diseñó y puso a funcionar una nueva opción silvopastoril, que permite la integración del negocio pecuario con el de madera. Se reporta la estructura completa de costos del componente forestal, basado en clones de alto rendimiento genético de las dos especies de mayor reforestación en la región: melina (*Gmelina arborea* Roxb.) y teca (*Tectona grandis* L.f.). Se presenta en detalle las actividades de establecimiento, mantenimiento, manejo y cosecha de los árboles en el sistema silvopastoril (SSP). La información se diferenció en dos escenarios, el modelo de alta (MAI) y baja inversión (MBI), los cuales se distinguen por el paquete tecnológico utilizado. El componente forestal propuesto consistió en el establecimiento de dos franjas de árboles de siete metros de

ancho/ha. Dentro de las franjas se plantan los árboles en distribución tresbolillo, a un distanciamiento de 2,5 m entre hileras y, dentro de cada hilera, cada 4 m. Los costos totales para producir madera en dos franjas/ha con 150 árboles en el modelo de alta inversión, se estimó en ₡ 752 480 (US \$ 1 320), en un ciclo de ocho años con melina. Mientras que con teca en un ciclo de 16 años, el costo total estimado fue de ₡ 967 539 (US \$1 697). Para el modelo de baja inversión los costos totales para melina son de ₡ 545 739 (US \$ 957) y para teca ₡ 714 548 (US \$1 253). La información de la estructura de costos es fundamental para la toma de decisiones a todo nivel. Se espera que con este estudio se generen nuevas opciones de análisis de inversión y manejo de sistemas silvopastoriles en la región. La información permitirá analizar financieramente los sistemas silvopastoriles utilizando clones de teca y melina para fomentar la producción de madera de alto valor económico en fincas ganaderas, generando un impacto social importante. Desde el punto de vista ambiental, los árboles contribuirán a mitigar la huella de carbono de esta actividad, la de mayor extensión en el territorio nacional con más de 1 000 000 de hectáreas.

Palabras clave: *Tectona grandis*, *Gmelina arborea*, silvopastoril, economía

Introducción

La ganadería en Costa Rica es una actividad productiva tradicional que se desarrolla desde hace aproximadamente 450 años (CORFOGA 2015). Actualmente un 43,4% (1,86 millones ha) del territorio corresponden a tierras ocupadas por pastos (INEC 2014). Sin embargo la mayor parte de estas áreas son utilizadas para desarrollar sistemas de ganadería extensiva, con baja tecnología que provocan un deterioro ambiental y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que contribuyen al calentamiento global (FAO 2013).

El país tiene como meta alcanzar la carbono neutralidad en el 2021 y todos los sectores deben aportar a esta causa desde sus posibilidades y realidad socioeconómica. Por ser la ganadería el uso del suelo de mayor superficie en el territorio nacional, su impacto ambiental es de suma relevancia. Debe por tanto buscarse soluciones e invertir en la mejora de los sistemas de producción, con el fin de poner en marcha opciones que reduzcan emisiones y aumenten su rentabilidad.

Los sistemas silvopastoriles (SSP) asocian el componente forestal, el forrajero y la producción de carne o leche (Murillo *et al.* 2013). Han sido promovidos durante décadas y un abundante conocimiento ha sido generado al respecto (Ibrahim *et al.* 2007; Casasola *et al.* 2009). Sin embargo, en nuestro medio no ha ocurrido una verdadera integración entre el componente forestal y el ganadero.

Es común encontrar modalidades de SSP en fincas ganaderas (cortinas rompevientos, árboles en hileras o linderos, y árboles dispersos en potrero) (Villanueva *et al.* 2010). Sin embargo, por lo general los árboles tradicionalmente no contribuyen con la economía de la finca (Murgueito e Ibrahim 2008).

El componente forestal del modelo silvopastoril propuesto por Murillo *et al.* (2015), consiste en un diseño que permite la inclusión de franjas de especies forestales de alto valor, intercaladas dentro de la unidad de producción pecuaria. Su propósito es desarrollar un sistema social, económica y ambientalmente sostenible, que contribuya con la reducción de la huella de carbono de la actividad ganadera.

La información financiera y de estructura de costos es fundamental para lograr el desarrollo de propuestas de fomento de cualquier actividad productiva. La información económica disponible sobre SSP no incluye la totalidad de costos. Se refiere más a una ganadería arbolada, que a un sistema que integra dos negocios productivos, la producción animal y la producción de madera.

El desarrollo de un modelo de costos real y exhaustivo permitirá fomentar el establecimiento de SSP atractivos y de mayor adopción por parte del sector ganadero. Contribuirá a que el país alcance a largo plazo una transformación en un paisaje rural sostenible (Murgueito 2009). Este estudio aporta un modelo de costos completo del componente forestal de un nuevo enfoque SSP para el país, con el objetivo de generar información técnica de utilidad a investigadores y productores ganaderos.

Metodología

Modelo silvopastoril propuesto

El componente forestal del modelo silvopastoril propuesto se desarrolla desde hace cuatro años en la zona norte de Costa Rica.

Para facilidad de comparación y análisis, el modelo de costos fue adaptado a la unidad de una hectárea, a partir de la incorporación de árboles en franjas angostas de siete metros de ancho, dentro de potreros o repastos. En la modalidad más intensiva las franjas se establecen cada 50 m, preferiblemente con una dirección este-oeste para reducir sombrero fuera de las franjas. Con este arreglo espacial se pueden establecer dos franjas de 700 m² cada una por ha (7 m de ancho por 100 m de longitud), para un total de 1 400 m² ó también, 14% de la superficie de una hectárea bajo producción de madera. El diseño establece que dentro de cada franja se plantan tres hileras de árboles en distribución “tresbolillo o pata de gallo”, separadas por 2,5 m entre hileras y, dentro de cada hilera, los árboles se plantan cada 4 m. Esto da como resultado tres hileras internas por franja, con un espaciamiento de 2,5 m x 4 m, que permiten albergar un total de 75 árboles/franja o también, 150 árboles/ha en producción de madera (Figura 1).

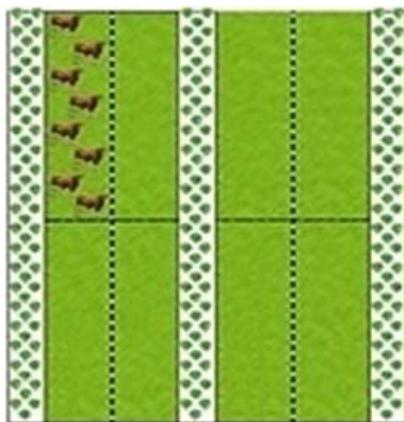


Figura 1. Opciones de establecimiento de sistemas silvopastoriles con franjas de madera (Paniagua et al. 2015)

Se seleccionaron las especies melina (*Gmelina arborea Roxb.*) y teca (*Tectona grandis L.f.*) por ser las de mayor tasa de plantación y mercado de madera en el país y, con el paquete

tecnológico de mayor evolución y desarrollo, basado en el uso de clones de alto rendimiento (Murillo y Badilla 2015).

El estudio se basó en el sistema de costos general para plantaciones forestales en Costa Rica, propuesto por el equipo de investigación en plantaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Murillo *et al.* 2015). De este modelo base, se adaptó la información para el establecimiento y manejo de esta modalidad de plantación de teca y melina clonal en franjas de madera. Se tomó como experiencia los costos reales de establecimiento y mantenimiento de franjas de madera en sistemas ganaderos en los años 2013 al 2016, en varias fincas del Colegio Agropecuario de San Carlos y del Instituto Tecnológico de Costa Rica en la zona norte del país.

La información sobre costos de agroquímicos, establecimiento y mantenimiento de cercas, preparación de terreno mecanizado, insumos en general, se obtuvo a partir de la experiencia directa del estudio y a través de entrevista a expertos en producción forestal y ganadería. Así también, se realizaron consultas y cotizaciones en almacenes y comercio especializado. Con esta información se logró afinar y actualizar la base de datos, que compiló en detalle los costos de cada actividad del establecimiento, mantenimiento, manejo y aprovechamiento de los árboles dentro de las franjas de madera. La estructura de costos se construyó en colones, en donde se organizó cronológicamente año con año, cada actividad que ocurre en un ciclo completo de producción de madera de melina y teca dentro del SSP.

El modelo de costos se diferenció entre alta y baja inversión de tecnología (Cuadro 1), que coincide en buena parte con el concepto de pequeño (< 20 ha), mediano (< 50 ha) y gran productor (> 50ha) utilizado en el país (Murillo y Badilla 2015). Ambas modalidades se diferencian en que en el paquete tecnológico de alta inversión (MAI), aplica una mayor

cantidad y especialidad de tecnología. Mientras que el de menor inversión es análogo al concepto de mínima labranza.

Cuadro 2. Descripción de las características de los modelos silvopastoriles

Modalidad	Características
Alta inversión (MAI):	Propiedades de > 20 ha. Incluye preparación mecanizada del terreno, enmiendas, fertilización y utiliza cerca eléctrica.
Baja inversión (MBI):	Fincas < 20 ha, no hay preparación mecanizada del terreno, pobre manejo del suelo y utiliza cercas vivas.

Asistencia técnica

El sistema de plantación forestal del país incluye la figura del ingeniero forestal regente, acorde con la normativa costarricense. Sus labores incluyen la gestión y supervisión de todas las actividades, desde el planeamiento, diseño y establecimiento del sistema de franjas de madera. Así como las gestiones ante el Fondo de Financiamiento Forestal (FONAFIFO). Los costos fijos/ha de asistencia técnica se diferenciaron con base en el tamaño del área de producción. El MAI se sustentó en un modelo de 50 ha, mientras que el MBI en 20 ha lo que provoca una diferencia en el costo de asistencia técnica del MAI y el MBI.

Mano de obra

En el caso del MAI, el costo del jornal se determinó mediante el monto oficial que establece el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social en el segundo semestre (2016), que establece un valor de ₡ 9 711 para un peón agrícola que realiza labores pesadas (6 horas/día). Sin embargo se le debe añadir un 45% (₡4 437) correspondiente a las cargas sociales, que suma un costo total por jornal de ₡14 148 (US \$ 24,6, a tasa de cambio de 1 US \$ = ₡575, junio 2017).

MBI: En el caso de pequeños productores, buena parte de la mano de obra es aportada por la familia dueña de la propiedad, así como mediante el contrato de trabajadores ocasionales.

Por tanto, no existe el concepto de planilla y no hay en teoría pago por cargas sociales. Para estar en concordancia con la normativa nacional sobre seguridad laboral del trabajador en el país, al costo del jornal se le añadió el pago del seguro voluntario del trabajador independiente que tiene definida la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS), determinado para el II semestre 2016 en Costa Rica en ₡ 25 647, tal y como lo proponen Murillo *et al.* (2017). Para su estimación en el costo del jornal, se asumió que un trabajador ocasional logra ocuparse en promedio 20 días/mes, que resultó en un valor diario de ₡ 1 282. Por tanto, el costo del jornal se determinó mediante el mismo valor oficial del jornal mencionado anteriormente (₡9 771) más ₡1 282 de la CCSS, para un total de ₡11 053,71. Este costo total por jornal asume entonces que el trabajador con ese dinero podrá pagar en forma voluntaria el costo de su seguridad social. Finalmente, a este valor hay que agregarle el pago de una póliza de riesgos laborales, que es obligatoria en la legislación nacional y corresponde a un 3% del salario. De tal manera que el costo final del jornal del peón agrícola ocasional para el modelo fue de ₡11 385 (US \$19,8).

Aislamiento o protección de los árboles (cercas)

La protección de los árboles por medio de cercas (eléctrica o cerca viva) es esencial para impedir el ingreso de los animales dentro de las franjas de madera (Méndez *et al.* 2000). Para el modelo de alta inversión se seleccionó la opción de cerca móvil o provisional, que permite su retiro con facilidad para realizar el aprovechamiento de los árboles en los raleos y la cosecha final. Este diseño plantea el no ingreso de los animales dentro de las franjas, tema que será sujeto de discusiones a futuro.

Los componentes e insumos necesarios para el establecimiento de las cercas incluyen los costos del equipo eléctrico (fuente de poder), la toma de tierra, el aislador y el alambre; los cuales se necesitan para el funcionamiento de la cerca eléctrica. Se incluyen los costos de los materiales necesarios para establecer las cercas alrededor de las dos franjas, cada una con una longitud de 100 m y con 7 m de ancho en una hectárea de terreno.

Para calcular la depreciación del equipo e insumos de la cercas, se dividió el costo total de cada insumo por sus años de vida útil. El valor resultante se prorrateó entre la cantidad de hectáreas del MAI y el MBI. Para efectos del impulsor de 80 millas y panel solar se utilizó una vida útil de 8 y 16 años. Los productos con una vida útil menores al ciclo de producción se renovaron varias veces hasta ajustar con el ciclo completo de producción de los árboles (8 años la melina y 16 años la teca).

Resultados

Los costos de establecimiento del sistema en el año cero o de inversión inicial, se registran en detalle en el cuadro 2. En el modelo de alta inversión (MAI) se incluye la preparación mecanizada del terreno y el jornal se registra con las cargas sociales completas. Mientras que en el modelo de baja inversión (MBI) no se incluye la preparación del terreno, el costo del jornal es inferior (pago de seguro voluntario) y, algunos insumos no son incluidos.

Cuadro 2: Costos de gestión, preparación y establecimiento/ha de franjas de madera en el sistema silvopastoril, en la modalidad de alta (MAI) y baja inversión (MBI) (1US\$ = ₡575, junio 2017)

Actividad	Unidad	Jornales	MAI Insumos (₡/ha)	MAI Mano Obra (₡/ha)	MBI Insumos (₡/ha)	MBI Mano Obra (₡/ha)
Gestión del proyecto						
Recolección de información (Inspección y medición de área)	hora-profesional	4	-	2,087		5,217
Análisis de suelo	Ha	1	14,000	-	14,000	-
Análisis de documentos y estudio de registro	hora-profesional (repartido en 20 ó 50 ha según modelo de producción)	2		2,087		5,217
Formulación de propuesta	hora-profesional	8		4,174		10,434
Informe de verificación de siembra	hora-profesional	4		2,087		5,217
Verificación en campo del mantenimiento	hora-profesional	4		2,087		5,217
Subtotal		23	14,000(\$24)	12,522 (\$21)	14,000(\$24)	31,302(\$54)
Preparación del terreno						
Renovación de cercas viejas	Jornal	1,00		14,148		-
Drenajes primarios	Jornal	0,25		3,537		-
Drenajes secundarios	Jornal	0,25		3,537		-
Subsolado	Hora tractor	0,25	2,000			-
Arado	Hora tractor	0,25	2,000			-
Rastrea	Hora tractor	0,25	2,000			-

Lomillado	Hora tractor	0,25	2,000			-
Subtotal		2,5	8,000 (\$14)	21,222 (\$37)		-
Establecimiento						
Chapea Manual (100% del área)	Jornal	1		14,148		11,395
Control químico de malezas 100% del área	Jornal	0,25		3,537		-
Pre-emergente + adherente	Litro	0,15	1,661		-	
Trazado-marcación	Jornal	0,33	3,600	4,669	3,600	3,757
Preparado y acarreo de estacas guía	Jornal	0,10		1,415		1,139
Rodajea pre-plantación	Jornal	0,20		2,830		2,277
Hoyado	Jornal	0,40		5,659		4,544
Distribución de plantas	Jornal	0,10		1,415		1,139
Encalado manual 100% del área (2 a 4 Ton/ha)	Jornal	0,20		2,830		2,277
Cal (2-4 Ton/ha)	1 saco	0,35	9,524		2,450	
Plantación y fertilización inicial	Jornal	0,30		4,245		3,416
Fertilizante 10-30-10	1 saco	0,14 g/arb	15,500		15,500	
Árboles	Árboles	150,00	30,000		30,000	
Resiembra	Jornal	0,20		2,122		1,708
Árboles de resiembra	Árboles	15,00	3,000		3,000	
Subtotal		3,58	63,285 (\$110)	42,870 (\$74)	54,550 (\$94)	31,652 (\$55)
Total		6,08	85,285	76,614	68,550	62,954

	(\$148)	(\$133)	(\$119)	(\$109)
Costo total de gestión y establecimiento	161,899		131,504	
	(\$281)		(\$229)	

Cuadro 3: Costos de establecimiento de una cerca eléctrica en la periferia de dos franjas de 100 m de longitud y 7 m de ancho, en un sistema silvopastoril. (1US\$ = ¢575)

Mano de obra	Unidad	Jornal	Costo/ha		
			(¢)		
Aislamiento	Jornal	0,50	7,074		
Hoyado	Jornal	0,50	7,074		
Siembra de poste	Jornal	0,25	3,537		
Armado de la cerca móvil	Jornal	0,10	1,415		
Subtotal		1,35	19,100		
			(US \$33)		
Equipo	Cantida d	Vida útil (años)	Costo unidad (¢)	Costo/ha (1/50)	Costo/ ha/año
Impulsor de 80 millas (110 voltios)	1	8	137,500	2,750	275 (348*)
Cuchilla de doble tiro	1	5	9,100	182	36,4
Desviador de rallos	1	5	11,475	230	46
Cable forro de 50 m	1	5	17,550	351	70,2
Varillas de copperweld	6	5	5,618	674	134,8
Tornillos de varillas copperweld	6	5	1,600	192	38,4
Panel solar o celdas fotovoltaicas	1	16	123,500	2,470	123,5 (309*)
Subtotal				6,849	724
				(\$12)	(\$1,3)
Dispositivos	Cantida d	Vida útil	Costo c/u	Costo/ha	Costo/ Ha/año
Poste de fibra de vidrio	20	5	2,000	40,000	8,000
Postes de madera para las esquinas (2m)	8	5	5,650	45,200	9,040
Cordón eléctrico (400 m)	1,2	5	30,000	36,000	7,200
Carrete	2	5	25,000	50,000	10000
Manigueta	2	3	1,470	2,940	980
Cordón elástico (100 m)	4	3	1,800	7,200	2400
Agarradera del portillo	2	3	1,900	3,800	1266,7
Subtotal				185,140	38,887
				(\$321)	(\$69)
Total				211,089	58,711
				(\$367)	(\$102)

*La depreciación del impulsor y el panel solar fue dividida entre los ocho años de rotación de la melina.

*Depreciación en 8 años ¢/ha 13,247 en melina y ¢/ha 16 559 en 10 años para el modelo de teca.

Para el MAI se establece una cerca eléctrica móvil que pueda retirarse con facilidad para realizar los raleos y cosecha a futuro de los árboles, Los costos de la cerca incluyen la mano de obra, el aislamiento, la depreciación y los insumos necesarios para su establecimiento (Cuadro 3).

En el modelo de baja inversión se asume que el productor establece dos franjas por hectárea, pero utilizando el perímetro de la finca o una combinación de ambas (Figura 1). En estos casos se aprovecha la cerca viva ya existente y solamente se invertiría en el establecimiento de una sola línea de cerca interna para aislar los árboles (Cuadro 4).

Cuadro 4: Costos de establecimiento de la cerca viva, alrededor de dos franjas de 100 m de longitud y 7m de ancho dentro de un sistema silvopastoril (1 US \$ = ¢575).

Insumos	Cantidad	Precio/unidad (¢)	Costo (¢/ha)
Poste vivo	14	1,200	16,800
Estacones	36	300	10,800
Alambre de púas (330 m)	2	19,111	38,222
Bolsa de grapas	1	1,230	1,230
Subtotal			67,052 (\$116)
Mano de obra	1,50 Jornales		17,078 (\$29)
Costo Total			80,032 (\$139)

Los costos de mantenimiento son constantes durante los primeros cuatro a cinco años, debido a que el programa de control de malezas se mantiene activo y demanda una atención importante para lograr reducir la competencia de las gramíneas y otras plantas. En un ciclo completo de producción de melina en ocho años se estima este rubro en ¢34 242 por hectárea.

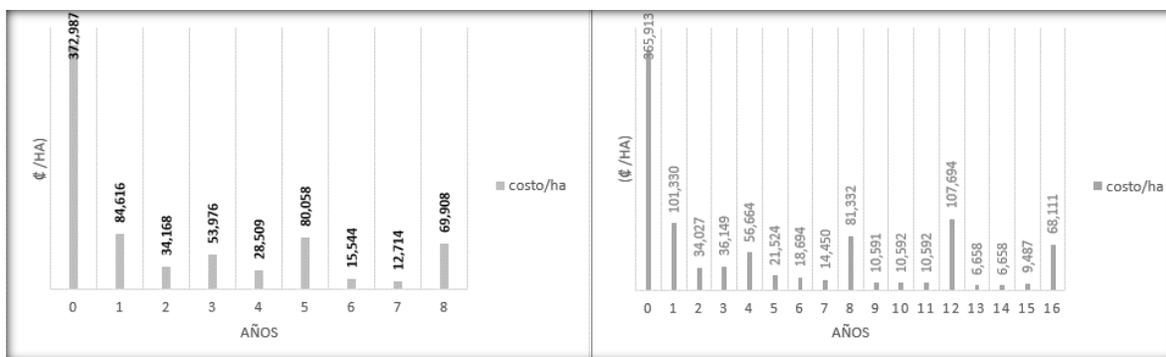


Figura 2: Costo anual de establecimiento y manejo de 150 árboles/ha en franjas de melina (izquierda) y teca (derecha) en un sistema silvopastoril de alta inversión.

Para el MAI basado en plantaciones de melina se puede observar en la Figura 2 que los mayores costos ocurren en los años cero, uno, cinco y ocho (49,6%, 11,2%, 10,6% y 9,3% respectivamente). El año de establecimiento de la plantación suele ser el más alto en la actividad forestal (Murillo *et al.* 2017) y en el SSP evaluado, debido a que los costos de establecimiento de la cerca eléctrica incrementan los costos. En el año cinco y ocho se efectúa el segundo aprovechamiento y la cosecha final por lo que los costos son mayores y se registra un aumento significativo debido a los costos de aprovechamiento de los árboles de melina. Similar efecto ocurre en las franjas de teca al año 16 (Figura 2, derecha).

Con la teca se observa (figura 2 derecha) que el año 0 representa un 38,10% seguido de los años 1, 8, 12 y 16, que coinciden con los años en que se planean raleos y cosecha final según el paquete tecnológico. Estos costos representan un 10,55 %, 8,47 %, 11,21 % y 7,09% del total respectivamente. Los años 1, 4 y 8 son relativamente caros, explicado por el mantenimiento inicial, el raleo y aprovechamiento de los árboles (en el caso de la teca).

En la figura 3 se puede apreciar el patrón de distribución del costo total de producción de madera en las franjas. La mano de obra representa un 41 a 43 % de los costos totales que corresponde con aproximadamente 22,4 jornales/ha en un periodo de ocho años (melina) y

29,45 jornales/ha en un ciclo de 16 años (teca). Esto equivale a un costo total de ₡ 314, 662 y ₡ 416,640 respectivamente. La cerca eléctrica ocupa el segundo costo mayor (21 a 26%), seguido por la preparación del suelo (15 a 19%) con un monto de ₡88 000 en melina y ₡152 000 en teca.

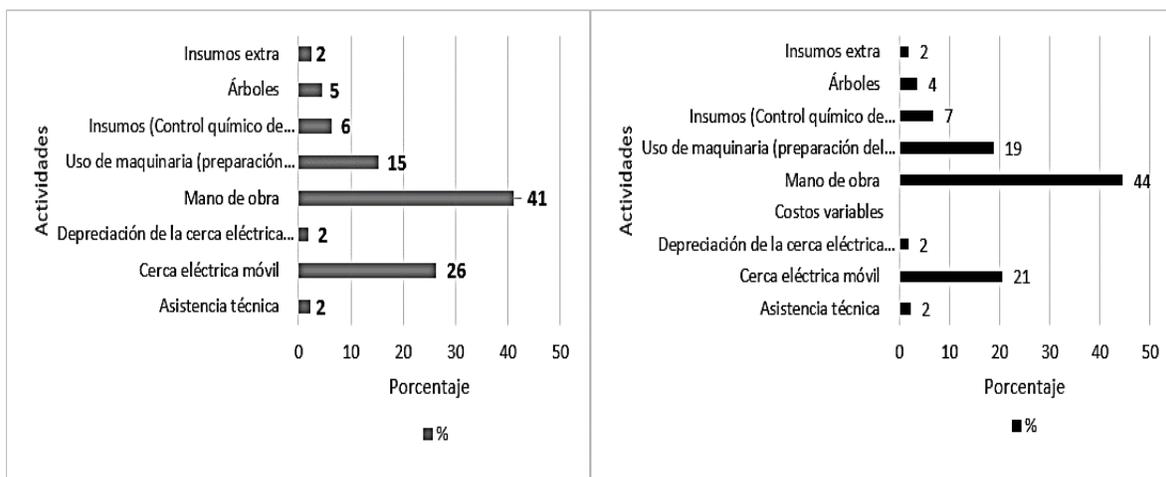


Figura 3: Distribución del costo de establecimiento de producción de madera en el modelo silvopastoril de alta inversión basado en melina (izquierda) y teca (derecha).

En los cuadros 5 y 6 se muestra la distribución del costo anual de mantenimiento y manejo de franjas de ambas especies del SSP de alta inversión. Se observa que nuevamente la mano de obra en los raleos y la cosecha final representan el rubro mayor (31 a 32%), seguido ahora por el control de malezas (13,75 a 15%). En general, el mantenimiento y manejo de las dos franjas/ha requiere de 16,4 jornales en melina y 23,6 en teca. El buen manejo inicial de la gramínea dentro del SSP propuesto, es fundamental para evitar la competencia con los árboles. La prospección para el control de plagas y enfermedades (8 y 10% de los costos) se concentra principalmente durante los primeros cinco años para prevenir el ataque o eliminar a tiempo el material infectado.

Cuadro 5: Costos de mano de obra para mantenimiento y manejo anual de franjas de melina en el modelo silvopastoril de alta inversión.

Actividad	Rendimiento (J)	Años										Cantidad	Mano de obra(J) Rend*Cant	Costos (¢/ha)	%
		0	1	2	3	4	5	6	7	8					
Control de maleza con motoguadaña	0,15-0,50		2	2	2	1	1	1	1	1		11	2,25	31,834	13,75
Rodajea manual	0,40		2									2	0,80	11,319	4,89
Control químico de malezas	0,17		3	3	3	3	2	2	2			18	3,11	44,002	19,01
Fertilización	0,35		1									1	0,35	4,952	2,14
Prospección y Control Plagas y Enfermedades	0,10-0,28			1	1	1	1	1				5	1,30	18,393	7,95
Poda deshija	0,20		2									2	0,4	5,659	2,44
Poda de formación y recuperación de dominancia apical	0,50		2									2	1	14,148	6,11
Primera poda	0,30		1									1	0,3	4,245	1,83
Deshija o eliminación brote basal	0,30			1								1	0,3	3,537	1,53
Poda baja	0,50			1								1	0,5	7,074	3,06
Poda media	0,50				1							1	0,5	7,074	3,06
Poda alta	0,50					1						1	0,5	7,074	3,06
Raleos y cosecha final	0,10-1.7				1		1			1		3	5,10	72,157	31
Total													16,36	231,468	100

Cuadro 6: Costos de mano de obra para mantenimiento y manejo anual de franjas de teca en el modelo silvopastoril de alta inversión.

Actividad	Rendimiento (J)	Años													Cantidad	Mano de obra (J) Rend* Cant	Costo (¢ /ha)	%	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9-11	12	13-14	16					
Control de maleza motoguadaña	0,15-0,50		1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	15	3,60	50,935	15
Rodajea manual	0,40		2													2	0,80	11,319	3
Control químico maleza	0,10-0,18		3	3	3	3	2	2	2	2	3	1	2	1	27	4,77	67,488	20	
Fertilización	0,20		1												1	0,20	2,830	1	
Control Plagas y Enfermedades	0,20			1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	14	2,28	32,259	10	
Amarre de árboles (viento)	0,50		1												1	0,50	7,074	2	
Poda o deshija (4-6 meses)	0,20		2												2	0,40	5,659	2	
Poda (h = 1,5m)	0,30		1												1	0,30	4,245	1	
Deshija	0,25			1											1	0,25	3,537	1	
Repaso de Poda (150 árboles)	0,10-0,20				1	1	1	1	1	1					6	1,0	14,148	4	
Poda baja (h = 2,5m)	0,50			1											1	0,5	7,074	2	
Poda media (h =5 m)	0,50				1										1	0,5	7,074	2	
Poda rama gruesa	0,30				1										1	0,3	3,820	1	
Poda alta (h = 7,5m)	0,5					1									1	0,5	7,074	2	
Control de rebrotes de tocón	0,2						1								1	0,2	2,830	1	
Raleos y cosecha	0,10-0,75					1				1		1		1	4	7,50	106,114	32	
Total																23,6	333,480	100	

Modelo silvopastoril de baja inversión (MBI)

Debe recordarse que en el modelo de baja inversión, los costos difieren en el tipo de cerca y en que no incluyen la preparación del terreno. El costo del jornal es levemente inferior por ser estimado con el pago voluntario de la seguridad social. Por tanto, los costos totales de mano de obra/ha si se planta melina son de ¢ 232 717, que corresponde aproximadamente a 16,6 jornales en un periodo de ocho años. Mientras que con teca se debe invertir aproximadamente ¢ 308 544/ha, que significan 21,8 jornales en un periodo de 16 años. En ambas especies, este costo representa el 45 % del total el modelo de baja inversión, similar en proporción al modelo de alta inversión. Por el uso de maquinaria para el aprovechamiento de los árboles en los raleos y la cosecha final, se requiere invertir un total de ¢80 000 y ¢144 000 (21 %) respectivamente. Finalmente, la instalación de la cerca viva tiene un costo de ¢67 052 (9%), que con la mano de obra llega a ¢80 032 (cuadro 4).

En el cuadro 7 se puede apreciar en detalle los costos totales/ha para los dos modelos propuestos (MAI y MBI).

Cuadro 7: Costos totales para los modelos silvopastoriles de alta y baja inversión basados en melina y teca.

Especies	MAI				MBI			
	Melina Ciclo corto de 8 años	%	Teca Ciclo medio de 16 años	%	Melina Ciclo corto 8 años	%	Teca Ciclo medio 16 años	%
Establecimiento (gestión + establecimiento + cercas)	372,987	49,6	372,987	38,6	372,987	39,51	215,133	30,1
Mantenimiento y manejo	299,493	39,7	450,552	46,6	450,552	45,83	355,414	49,7
Raleos y cosecha	80,000	10,6	144,000	14,9	144,000	14,66	144,000	20,2
Total	752,480	100	967,539	100	545,739	100	714,548	100

*Los costos que se muestran en el cuadro 6 y 7 no incluye los costos actualizados de la cerca ni los costos de insumos.

Discusión

Los resultados de esta investigación indican que los costos totales de establecimiento para melina incluyendo las cercas, son de ¢372 987 para el modelo de alta inversión (MAI) y de ¢215 133 para el de baja inversión (MBI) con una diferencia de 45,6 % en los costos de establecimiento (cuadro 7). Esta diferencia se explica principalmente por el alto costo de instalar una cerca eléctrica, que representa un 20% de los costos de establecimiento del sistema silvopastoril. Sin embargo, si se deprecia el valor de la cerca y se prorratea entre el número de años de vida útil de la plantación forestal, su valor anual desciende considerablemente a tan solo ¢13 247/ha/año en el caso de plantaciones de melina y ¢16,560/ha/año en el caso de la teca. Si se compara con el MBI, claramente la relación de costos es mucho más favorable (50% de disminución) y se adapta mejor a las condiciones de pequeños y medianos productores, donde se aprovecha mejor los mismos recursos de la propiedad y posiblemente establezca las franjas de madera en las periferias de los potreros, para requerir el establecimiento de solamente la cerca interna del sistema silvopastoril. Adicionalmente, los costos de mano de obra son también menores, dado que se asume que el dueño de la propiedad paga su seguro voluntario.

Si se compara estos costos con los de establecimiento de plantaciones forestales regulares en bloque, con 833 árboles/ha (¢642 000, González 2014; ¢632 500, \$1100, Kottman 2013), puede apreciarse que los SSP MAI y MBI corresponden aproximadamente con un 50% y un 33% respectivamente. Si se toma en cuenta que más del 50% de los costos de establecimiento del SSP corresponden a las cercas, esta relación se reduciría a un 25 % y 17,5 %. Debe

también señalarse que un SSP es un concepto integrado entre producción forestal y ganadera.

Por tanto, este costo de las cercas debería ser compartido entre ambas actividades.

Con estos resultados se podría también comparar los costos totales de establecer las franjas de madera en el SSP diseñado y en funcionamiento en la zona norte, vs los costos ordinarios de plantaciones forestales regulares. En el caso de la melina la relación sería de 150 árboles/ha en el SSP a 625/ha en bloque compacto. Significa que se requiere de 4,17 ha de SSP para plantar la misma cantidad de árboles. Pero los costos del modelo de alta inversión (MAI) son mayores en el SSP explicado por el costo de la cerca eléctrica. La relación sin actualizar ambos valores, sería de ¢752,480 del SSP/ ¢2 773 913 (González 2014), que equivaldría a un 27 % (3,7 veces). Es decir, para producir la misma cantidad de árboles se debe plantar 4,17 ha en SSP, pero costará ¢3 130 625 (un 13 % más caro). Si se analiza con los costos del modelo de baja inversión (MBI), la relación de costos es ahora positiva para el SSP. El costo de las 4,17 ha será ahora de ¢ 2 273 912, un 28 % más barato.

En el caso de la teca la relación del número de árboles es ahora de 5,55 ha de SSP para plantar los mismos 833 de la hectárea compacta. Pero los costos son ¢ 5 373 066, que significa un 41 % más caro que los ¢ 3 799 145 de la hectárea compacta (González 2014). En el modelo de baja inversión, sin embargo, los costos de las 5,55 ha del SSP con teca serán ahora de ¢ 3 968 123, que supera en apenas un 4% los costos de la hectárea compacta.

De los costos totales del sistema, la mano de obra es el rubro de mayor importancia con aproximadamente un 41 % y 44 % en melina y teca respectivamente (Figura 3). Los altos costos de mano de obra en el establecimiento del SSP, puede ser uno de los elementos que explican la baja adopción de estos sistemas (Villanueva et al. 2010). Sin embargo los SSP bien diseñados y manejados tienen un potencial para mejorar los indicadores económicos,

sociales, ambientales de las fincas ganaderas y del paisaje, fundamental para alcanzar una producción animal de forma sostenible (Villanueva et al. 2010; Ochoa y Valarezo 2014).

En el estudio de caso reportado por Souza (2002) se realizó un análisis de la contribución de los árboles en potreros a la rentabilidad de las fincas ganaderas. Se determinó que los costos totales/ha fueron de ₡1 318 800 (US \$ 2 355). Indica también que la mayor rentabilidad se alcanzó en fincas con sistemas de producción de doble propósito y carne.

Los resultados del estudio destacan la importancia de promover el uso de especies maderables de alto valor comercial, que permitan mejorar los ingresos de la finca. La estructura de costos realizada en la presente investigación tiene como principal objetivo generar información de cómo establecer modalidades intensivas de SSP.

Se considera que esta base de datos es suficientemente completa y comprende prácticamente todas las labores en que se incurren para establecer el componente forestal en un SSP. Se espera que motive a más ganaderos a incorporar el componente forestal con un enfoque productivo. La producción ganadera junto con la producción de madera pueden sumarse para convertirse en un buen negocio sostenible y contribuir con las metas carbono neutralidad del país.

Conclusiones

Los costos totales para producir madera en dos franjas/ha con 150 árboles en el modelo de alta inversión, se estimó en ₡ 752 480 (US \$ 1 320), en un ciclo de ocho años con melina. Mientras que con teca en un ciclo de 16 años, el costo total estimado fue de ₡ 967 539 (US \$1 697). Para el modelo de baja inversión los costos totales para melina son de ₡ 545 739 (US \$ 957) y para teca ₡ 714 548 (US \$1 253).

La base de datos generó información esperada con todas las labores y actividades necesarias para el establecimiento del modelo silvopastoril propuesto. Se logró determinar que el costo de mano de obra fue el rubro de mayor peso dentro de la estructura de costos seguidos por la cerca eléctrica y el aprovechamiento de los árboles en los raleos y la cosecha final.

Algunas de las barreras que influyen en el establecimiento de estos sistemas son la mano de obra y la asistencia técnica, aspectos relevantes y que deben ser tomados en cuenta para el establecimiento y manejo de estos sistemas, ya que la falta de acompañamiento al productor provoca el abandono del proyecto después de algunos años, debido a la intensidad con la que se deben de efectuar las actividades como control de gramíneas, podas y raleos.

Por lo tanto con la información generada se espera que el productor pueda conocer cuáles son las principales actividades que debe tomar en cuenta para establecer un SSP, con un componente forestal bajo un esquema productivo, donde los árboles sean considerados como un cultivo de madera. La información de la estructura de costos es fundamental para la toma de decisiones de cualquier actividad productiva, ya sea para incursionar en un negocio o, para el acceso al financiamiento. Por lo que se espera que con este trabajo se genere conocimiento que permitirá mejorar los mecanismos de financiamiento y fomento de esta opción de SSP dentro de fincas ganaderas.

Recomendaciones

Es importante continuar con las estimaciones del crecimiento de los árboles en las franjas de madera, ya que se espera una mayor tasa de productividad en su desarrollo por el efecto del espacio lateral abierto.

Será de sumo valor continuar con el diseño de opciones de incorporación espacial de árboles maderables dentro de la finca ganadera. De modo que se logre una mayor adopción de estos SSP productivos.

Agradecimientos

A los fondos interuniversitarios de investigación FEES/CONARE, al Programa GENFORES de la Escuela de Ingeniería Forestal y a la Escuela de Ingeniería en Agronomía del Instituto Tecnológico de Costa Rica, al Instituto de Investigaciones y Servicios Forestales de la Universidad Nacional, al Centro de Investigaciones en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica, por el apoyo financiero, material y humano en esta investigación.

Literatura

Casasola, F.; Ibrahim, M.; Sepúlveda, C.; Ríos, N.; Tobar, D. 2009. Implementación de sistemas silvopastoriles y el pago de servicios ambientales en Esparza, Costa Rica: una herramienta para la adaptación al cambio climático en fincas ganaderas. p. 169-188. En Ibrahim, M. & Sepúlveda, C. (eds.). Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. Centro Agronómico Tropical (CATIE). Turrialba, Costa Rica.

CORFOGA (Corporación Ganadera). (2015). La ganadería sostenible en Costa Rica es una realidad. San José CR, CORFOGA .1 video.

FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y agricultura). (2013). Gran potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de la ganadería San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.fao.org/news/story/es/item/198166/icode/>

Gobbi, J A; Casasola, F.(2004) Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. Agroforestería en las Américas.10:39-60.

Gómez, M. & Quirós. (2001) Financiamiento de silvicultura de bosques latifoliados con énfasis en América Central 46:229.

- González, E. (2014). Determinación del momento óptimo de cosecha final en una plantación de *Tectona grandis* de la zona norte de Costa Rica. Tesis Maestría Gestión de Rec. Naturales y Tecnologías de Producción. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.
- Gutiérrez, T. 2016. Costos de producción empobrecen a agricultores nacionales. CR Hoy. San José, Costa Rica. Enero 2011.
- Ibrahim, M.; Chacón, M.; Cuartas, C.; Naranjo, J.; Ponce, G.; Vega, P.; Casasola, F.; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa aérea en sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. Agroforestería en las Américas. 45:27–36.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2014). VI Censo Nacional Agropecuario. San José, Costa Rica. Resultados Generales. mayo 2015. San José, Costa Rica. 147 p.
- Kottman, F. 2013. Capítulo 20: PanAmerican Woods S.A. Costa Rica. En: De Camino, R.; Morales, J.P. (eds). Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades. Boletín Técnico 397. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 86-111 p.
- Méndez, E.; Beer, J.; Faustino, J.; Otárola, A. (2000). Plantación de árboles en línea. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- MINAE, MAG, PNUD, (2013). Concepto de NAMA, Fincas ganaderas de Costa Rica, MINAE. San José, Costa Rica.
- Mora, V. (2001). Pastoreo bajo plantaciones. Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO), San José, Costa Rica.
- Murillo, O.; Paniagua, W.; Badilla, Y.; Rojas, A.; Arce, J.; Corea, E. (2013). Modelo silvopastoril orientado a la reducción de la huella de carbono y al aumento de la productividad económica. Proyecto interuniversitario CONARE. Cartago, Costa Rica.
- Murillo, O.; Badilla, Y. (2015). Informe Final de Consultoría: Definición de una metodología de muestreo de contratos del programa de pago de servicios ambientales para la medición de la biomasa, para el desarrollo de proyectos de comercialización de créditos de carbono. FONAFIFO. San José, Costa Rica.
- Murillo, O.; Badilla, Y.; Rojas, F.; Torres, G.; Carvajal, D.; Canessa, R. 2015a. Informe final de proyecto de investigación “Cultivo de especies maderables nativas de alto valor para

pequeños y medianos productores”. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica.

Murillo, O.; Leitón, M.; Ospino, M.; Badilla, Y. Paniagua, W.; Valverde, A. (2015). Hacia un nuevo sistema silvopastoril. San José, Costa Rica. Colegio de Ingenieros Agrónomos. Revista Germinar. Año 5 (Vol 17): 16-17.

Murillo, O.; Torres, G.; Carvajal, D.; Badilla, Y. (En prensa). Costos de producción de árboles de navidad (*Cupressus lusitanica* Mill.) en Costa Rica, Revista Agronomía Costarricense.

Murgueito, E.; Ibrahim, M. (2008). Ganadería y medio ambiente en América Latina, Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo. Fundación CIPAV. Cali, Colombia.

Murgueito, E. (2009). Incentivos para los sistemas silvopastoriles en América Latina. Revista Avances en investigación agropecuaria no 13(1): 3-18 p.

MTSS. (2016). Lista de salarios mínimos: Sector privado segundo semestre del 2016. San José, Costa Rica.

Ochoa,KD., Valerezo,JM. (2014).Caracterización y análisis de rentabilidad de los sistemas de producción ganaderos presentes en el cantón Yantzaza, Ecuador. Revista CEDAMAZ. No. 4(1): 76-85.

Omar, D.; Laércio, C. (1999). Agroforestería para la producción animal en América Latina, FAO, No 143, p 421-438.

Paniagua, W.; Mora, G.; Badilla, Y.; Murillo, O.; Rojas, A.; Campos, C.; Corea, E.; Ospino, M.; Lazo, G. (2015). Manual para el establecimiento de un Sistema Silvopastoril utilizando arboles maderables de alto valor económico. ITCR-UNA-UCR. San Carlos, Costa Rica.

Sánchez, F. (2001). Manual simplificado del cercado eléctrico: Guía sencilla para la selección, instalación, operación, mantenimiento de los cercos eléctricos operados con energía fotovoltaica. Chiapas, México.

Souza de Abreu,MH .(2002). Contribution of trees to the control of heat stress in dairy cows and financial viability of livestock farms in humid tropics. PhD. Tesis. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Villanueva, C.; Ibrahim, M.; Murgueito, E. (2010). Producción y rentabilidad de sistemas silvopastoriles: Estudios de caso en América Central. CATIE. Turrialba, Costa Rica.