

## Nota técnica

# COSTOS DE PRODUCCIÓN DE TECA (*Tectona grandis*) Y MELINA (*Gmelina arborea*) EN SISTEMAS SILVOPASTORILES DE LA ZONA NORTE DE COSTA RICA

Mónica Ospino-Araya<sup>1</sup>, Yorlery Badilla-Valverde<sup>2</sup>, Wilfrido Paniagua-Madrigal<sup>3</sup>,  
Carlos Campos-Granados<sup>4</sup>, Olman Murillo-Gamboa<sup>5/\*</sup>

**Palabras clave:** Economía forestal; ganadería; plantaciones forestales; sistemas agroforestales.

**Keywords:** Forest economy; livestock; forestry plantations; agroforestry systems.

**Recibido:** 31/10/2019

**Aceptado:** 15/01/2020

## RESUMEN


**Introducción.** La ausencia de información económica constituye una barrera para el fomento de sistemas silvopastoriles. El componente forestal representa una contribución marginal en la economía de la ganadería, que mantiene una huella de carbono alta y ocupa un 43% del territorio. Se requiere un nuevo modelo silvopastoril de mayor impacto económico-social y ambiental. **Objetivo.** Generar información de costos del cultivo de árboles, en un diseño silvopastoril que logra integrar el negocio pecuario con el de madera. **Materiales y métodos.** Se reporta la estructura completa de costos del componente forestal, basado en clones de melina y teca. Se adaptó la información de plantaciones compactas ordinarias, a un sistema de cultivo de árboles en franjas dentro de una finca ganadera, utilizado en la zona norte de Costa Rica.

## ABSTRACT


**Production costs of teak (*Tectona grandis*) and melina (*Gmelina arborea*) in silvopastoral systems in the northern region of Costa Rica. Introduction.** The absence of economic information constitutes a barrier to the promotion of silvopastoral systems. The forest component represents a marginal contribution to the livestock economy, which maintains a high carbon footprint and occupies 43% of the territory. A new silvopastoral model of greater economic, social and environmental impact is required. **Objective.** To generate information on the costs of tree cultivation, in a silvopastoral design that manages to integrate the livestock business with that of wood. **Materials and methods.** The complete cost structure of the forest component is reported, based on melina and teak clones. The information from ordinary

\* Autor para correspondencia. Correo electrónico: omurillo@itcr.ac.cr


1 Universidad Nacional de Costa Rica, Escuela de Ciencias Ambientales, Heredia, Costa Rica.

 0000-0003-3388-3121.


2 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica.

 0000-0002-6743-9734.


3 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Agronomía, San Carlos, Costa Rica.

 0000-0002-4929-3946.

4 Universidad de Costa Rica, Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, San José, Costa Rica.

 0000-0002-0079-2621.

5 Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal, Cartago, Costa Rica.

 0000-0003-3213-8867.

La información se diferenci6 en dos escenarios, el modelo de alta y baja inversi6n, seg6n el paquete tecnol6gico utilizado. **Resultados.** Los 6rboles se plantaron dentro de franjas cercadas de seis metros de ancho.ha<sup>-1</sup> en los linderos de los apartos, en distribuci6n tresbolillo a 2,5 m entre hileras y 4,0 m entre 6rboles, que permiten cultivar 150 6rboles en dos franjas.ha<sup>-1</sup>, en un ciclo de 8 a6os para melina y de 16 a6os para teca. **Conclusiones.** El costo total de cultivar melina en dos franjas.ha<sup>-1</sup>, en el modelo de alta inversi6n, fue de ₡751 759 (US \$1307) y de ₡966 818 (US \$1681) con teca. En el modelo de baja inversi6n el costo total para melina fue de ₡545 739 (US \$949) y para teca ₡714 548 (US \$1242). La mano de obra represent6 41% de los costos totales en melina y 44% en teca. Este dise6o silvopastoril requiere plantar 4,17 ha con melina y 5,5 ha con teca para obtener la misma cantidad de madera que en una plantaci6n convencional.

compact plantations was adapted to a strip tree cultivation system within a cattle farm, utilized in the northern region of Costa Rica. The information was differentiated in two scenarios, the high and low investment model, according to the technological package used. **Results.** The trees were planted within two fenced-strips of six meters wide per hectare at the boundaries of the grazing paddocks. Within the strips, trees were planted in an irregular distribution, at a distance of 2,5 m between rows and 4.0 m between trees, which allowed planting of 150 trees.ha<sup>-1</sup> in a cycle of 8 years for melina and 16 years for teak. **Conclusions.** Total cost of growing melina in 2 strips.ha<sup>-1</sup>, in the high investment model was ₡751 759 (US \$1307) and ₡966 818 (US \$1681) for teak. In the low investment model, the total cost for melina was ₡545 739 (US \$949) and ₡714 548 (US \$1242) for teak. Labor represented 41% of the total costs in melina and 44% in teak. This silvopastoral design requires planting of 4.17 ha with melina and 5.5 ha with teak in order to obtain the same amount of wood as in a conventional plantation.

## INTRODUCCI6N

La ganadería en Costa Rica es una actividad productiva tradicional que se desarrolla aproximadamente hace 450 a6os (CORFOGA 2015). Cerca de un 43% (1,85 millones ha) del territorio corresponde a tierras ocupadas por pastos (INEC 2015). Sin embargo, la mayor parte de estas 6reas son utilizadas para desarrollar sistemas de ganadería extensiva, con baja tecnología, que provocan un deterioro ambiental y una mayor emisi6n de gases de efecto invernadero (GEI), que contribuyen al calentamiento global (FAO 2013).

El país tiene como meta alcanzar descarbonizar la economía, por lo que todos los sectores deben aportar a esta causa desde sus

posibilidades y realidad socioecon6mica. 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 producci6n, con el fin de poner en marcha opciones que reduzcan emisiones y aumenten su rentabilidad, tal y como se establece en el NAMA ganadería (MAG/CORFOGA/INTA/CNPL/PNUD 2017).

Los sistemas silvopastoriles (SSP) asocian el componente forestal, el forrajero y la producci6n de carne o leche (Murillo *et al.* 2013). Han sido promovidos durante d6cadas y un abundante conocimiento se ha generado al respecto (Ibrahim *et al.* 2007, Casasola *et al.* 2009). Sin embargo, en el medio costarricense

no ha ocurrido una verdadera integración entre el componente forestal y el ganadero. Es común encontrar modalidades de SSP en fincas ganaderas con árboles en hileras o linderos, cortinas rompevientos y árboles dispersos en potrero (Villanueva *et al.* 2010), donde los árboles tradicionalmente no contribuyen con la economía de la finca, sino solamente en sus aspectos ambientales (Murgueitio e Ibrahim 2008).

El componente forestal del modelo silvopastoril propuesto por Murillo *et al.* (2015b), consiste en un diseño que permite la inclusión de árboles en franjas de especies forestales de alto valor, intercaladas dentro de la unidad de producción pecuaria. Cuyo propósito es desarrollar un sistema, que logre armonizar el negocio pecuario junto con el de madera de alto valor y a la vez, aumentar la compensación de las emisiones de gases efecto invernadero.

La información financiera y de estructura de costos es fundamental para lograr el desarrollo de propuestas que fomenten cualquier actividad productiva. El desarrollo de un modelo de costos real permitirá fomentar el establecimiento de SSP de mayor adopción por parte del sector ganadero. Contribuirá a que el país alcance a largo plazo una transformación hacia un paisaje rural sostenible (Murgueitio 2009). El Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) que ha desarrollado esquemas de crédito específicos, para promover modalidades de cultivo de árboles maderables en sistemas agroforestales y silvopastoriles (FONAFIFO 2019), aunque adolece de información certera sobre costos e ingresos, que permitan mejorar el diseño de sus productos de crédito. Este estudio aporta el primer modelo de costos completo del componente forestal de un nuevo enfoque SSP para el país y tuvo el propósito de generar información técnica de utilidad para el FONAFIFO y para el sector ganadero y forestal en general. El modelo de costos fue diseñado con la intención de extender su aplicabilidad a la gran mayoría de escenarios existentes. Por esta razón, separa la modalidad para pequeños y medianos productores de la de grandes ganaderos (> 50 ha).

Asimismo, se separa el modelo para el cultivo de la teca (ciclo largo de 16 años) del de la melina (ciclo corto de 8 años), por ser las 2 especies más plantadas en la región tropical. Por tanto, en la construcción del nuevo modelo SSP, no se pretende comparar entre estos escenarios, dada su naturaleza y oportunidad de fomento diferente. De esta manera, se espera, que esta base de datos de costos sistematizada, logre su objetivo de aplicabilidad en la gran mayoría de opciones de cultivo de madera en fincas ganaderas del país.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo silvopastoril base, utilizado en esta investigación, se apoyó en las experiencias generadas desde el 2015 en fincas en la región de Florencia de San Carlos, Zona Norte de Costa Rica (Paniagua *et al.* 2015, Murillo *et al.* 2015b). El modelo se estableció en las fincas experimentales del Colegio Agropecuario de San Carlos (Santa Clara) y en la finca La Vega del Instituto Tecnológico de Costa Rica. La región es una zona baja, de una altitud entre 200 y 225 msnm, de topografía plana a levemente ondulada, suelos inceptisoles, arcillosos, poco profundos y sumamente ácidos (pH < 5,5), con una precipitación anual entre 3000 y 3300 mm.año<sup>-1</sup>, con los meses de febrero a abril relativamente secos, pero sin llegar a manifestar déficit hídrico, y una temperatura promedio entre 25 a 28°C (Filomeno 2018).

El sistema silvopastoril activo en la región se basa en la incorporación de árboles en 2 franjas.ha<sup>-1</sup> cercadas y de 6 m de ancho, se aprovecharon todo tipo de linderos dentro de la finca ganadera. El modelo de costos fue adaptado a la unidad de una hectárea para efectos de comparación y de establecer una misma unidad de análisis de fácil comparación. 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 2 franjas de 600 m<sup>2</sup> cada una por ha (6 m de ancho por 100 m de longitud), para un total de 1200 m<sup>2</sup>

o también, 12% de la superficie de una hectárea bajo producción de madera. El diseño establece que dentro de cada franja se plantan 3 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 3 hileras internas por franja, con un espaciamiento de 2,5 m x 4 m, que permiten albergar un total de 75 árboles.franja<sup>-1</sup>, o también, 150 árboles.ha<sup>-1</sup> en producción de madera (Figura 1).

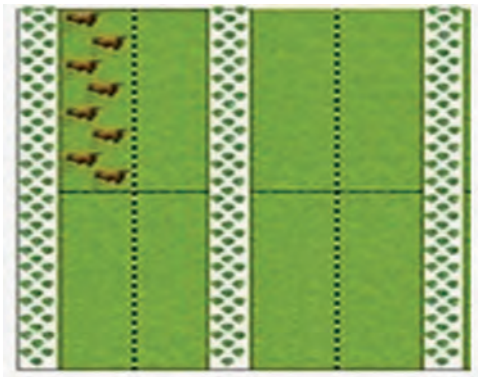


Figura 1. Opciones de establecimiento de sistemas silvopastoriles con franjas de madera (Paniagua *et al.* 2015).

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 para plantaciones forestales en Costa Rica, propuesto por el equipo de investigación en plantaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica (Murillo *et al.* 2015a) y mejorado en el

trabajo de Vallejos (2019). Los datos de costos y rendimientos, de todas las labores de manejo de plantaciones, fueron compilados durante más de 10 años a partir de datos reales registrados en empresas reforestadoras costarricenses. La información fue sistematizada, unificada y promediada en un mismo orden para cada actividad y año de trabajo en plantaciones forestales. La mayor parte de los datos de rendimiento fueron determinados en trabajo de muestreo en campo, con base en el método de tiempos y movimientos, que registra valores de producción por unidad de tiempo, repetido a distintas horas del día y distintos días de la semana (Guevara 2007, Guevara y Murillo 2009). De este modelo base, se adaptó la información para el establecimiento y manejo de árboles en franjas de espaciamiento reducido. Se tomaron como experiencia los costos reales del establecimiento y mantenimiento de árboles en franjas en sistemas ganaderos, establecidos en fincas en la zona norte del país en los últimos 5 años (Paniagua *et al.* 2015). Los precios, de todos los insumos y de los costos de preparación de suelos, se actualizaron con base en consulta en almacenes y comercio regional especializado. La base de datos se construyó en colonas, 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 (Tabla 1), que coincide en buena parte con el concepto de pequeño (< 20 ha), mediano (< 50 ha) y gran productor (> 50ha) utilizado por el Fondo de Financiamiento Forestal en el país (Murillo y Badilla 2015). Ambas modalidades se diferencian en que en el paquete tecnológico de alta inversión (MAI) aplica mayor tecnología en la preparación y manejo del suelo, y en la aplicación de agroquímicos.

Tabla 1. Definición de los modelos silvopastoriles de alta y baja inversión.

Modalidad	Características
Alta inversión (MAI)	Propiedades de > 50 ha. Incluye preparación mecanizada del terreno, enmiendas, fertilización y utiliza cerca eléctrica.
Baja inversión (MBI)	Fincas < 50 ha, no hay preparación mecanizada del terreno, pobre manejo del suelo y utiliza cercas vivas.

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) para la obtención del crédito forestal y el Pago por Servicios Ambientales.

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), con un valor de ₡9711 para una persona peona agrícola que realiza labores de campo (6 horas.día<sup>-1</sup>). Sin embargo, se le debe añadir un 45% (₡4437) 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 pequeñas personas productoras, parte importante de la mano de obra es aportada por la familia dueña de la propiedad, además de la contratación de personas trabajadoras ocasionales y no se utiliza la declaración de una planilla de trabajo ni un pago de la seguridad social. En concordancia con la normativa nacional sobre seguridad laboral del trabajador y la trabajadora, al costo del jornal se le añadió el pago del seguro voluntario de la persona trabajadora 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 una persona que

labora ocasionalmente logra ocuparse en promedio 20 días.mes<sup>-1</sup>, que resultó en un valor diario de ₡1282. Por tanto, el costo del jornal se determinó mediante el mismo valor oficial del jornal mencionado anteriormente (₡9771) más ₡1282 de la CCSS, para un total de ₡11 053,71. Este costo total por jornal asume entonces que la persona trabajadora con ese dinero podrá pagar en forma voluntaria el costo de su seguridad social. Finalmente, se le agrega 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 de la persona peona agrícola ocasional para el modelo fue de ₡11 385 (US \$19,8).

El diseño del SSP planteado asume técnicamente el no ingreso de los animales dentro de las franjas, en ningún momento durante todo el ciclo de producción, tema que podrá ser sujeto de discusiones a futuro. Es requerido proteger a los árboles dentro de la franja por medio de cercas eléctricas o cerca viva, con el respectivo costo de mantenimiento de la cerca durante todo el ciclo de producción (Méndez *et al.* 2000). Para el modelo de alta inversión, se seleccionó la opción de cerca móvil, que permite su movilidad y retiro con facilidad, para facilitar la corta y extracción de árboles durante los raleos o en la cosecha final.

Los componentes e insumos necesarios para el establecimiento de las cercas incluyen los costos del equipo eléctrico como fuente de poder, la toma de tierra, el aislador, el alambre y los postes. Se incluyeron costos de los materiales necesarios para establecer las cercas alrededor de

las 2 franjas, cada una con una longitud de 100 m y con 6 m de ancho en una hectárea de terreno.

La depreciación del equipo e insumos de la cerca se estimó por el método de la línea recta, que se obtuvo mediante el cociente entre el costo total de cada insumo y sus años de vida útil. El valor resultante se prorrateó (se distribuyó equitativamente) 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, respectivamente, que corresponden con el ciclo de producción de la melina y la teca.

## RESULTADOS

En la Tabla 2, se muestran los costos de establecimiento del componente forestal del sistema en el año cero, o también costos de pre-inversión. 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 incluyeron la mano de obra, el aislamiento, la depreciación y los insumos necesarios para su establecimiento (Tabla 3).

Tabla 2. Costos de gestión, preparación y establecimiento.ha<sup>-1</sup> de árboles en franjas, como parte de un sistema silvopastoril, en la modalidad de alta (MAI) y baja inversión (MBI) (1US\$ = ₡575, precios nominales junio 2017).

Actividad	Unidad	Jornales	MAI Insumos (₡.ha <sup>-1</sup> )	MAI Mano obra (₡.ha <sup>-1</sup> )	MBI Insumos (₡.ha <sup>-1</sup> )	MBI Mano obra (₡.ha <sup>-1</sup> )
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 o 50 ha según modelo de producción)	2	-	2,087	-	5,217
Formulación de propuesta						
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	-	11,385
Control químico de malezas 100% área	Jornal	0,25	-	3,537	-	-
Pre-emergente + adherente	Litro	0,15	1,661	-	-	-



Actividad	Unidad	Jornales	MAI Insumos ( $\text{C.}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	MAI Mano obra ( $\text{C.}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	MBI Insumos ( $\text{C.}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	MBI Mano obra ( $\text{C.}\cdot\text{ha}^{-1}$ )
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 <sup>-1</sup> )	Jornal	0,20		2,830		2,277
Cal (2-4 Ton.ha <sup>-1</sup> )	I saco	0,35	9,524		2,450	
Plantación y fertilización inicial	Jornal	0,30		4,245		3,416
Fertilizante 10-30-10	I saco	0,14 g.árb <sup>-1</sup>	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)	31,651 (\$55)
Total		6,08	85,285 (\$148)	76,614 (\$133)	68,550 (\$119)	62,954 (\$109)
Costo total de gestión y establecimiento		161,899 (\$281)			131,504 (\$229)	



Tabla 3. Costos de establecimiento de una cerca eléctrica para proteger la periferia de dos franjas con árboles, de 100 m de longitud y 6 m de ancho, como parte de un sistema silvopastoril de más de 50 ha. (1US\$ = ₡575, precios nominales de junio 2017).

Mano de obra	Unidad	Cantidad del Jornal	Costo.ha <sup>-1</sup> (₡)		
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	Cantidad	Vida útil (años)	Costo unidad (₡)	Costo.ha <sup>-1</sup> (1/50ha)	Costo.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>
Impulsor de 80 millas (110 voltios). (Teca)	1	8	137,500	2,750	344 (688)*
Cuchilla de doble tiro	1	5	9,100	182	36,4
Desviador de rallo	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	112	22,5
Tornillos de varillas copperweld	6	5	1,600	32	6,4
Panel solar o celdas fotovoltaicas	1	16	123,500	2,470	154*
Subtotal				6127 (\$10,7)	679 (1023) (\$1,2 a \$1,8)
Dispositivos	Cantidad	Vida útil	Costo c/u	Costo.ha <sup>-1</sup>	Costo.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup>
Poste de fibra de vidrio	20	5	2,000	40,000	8,000
Postes de madera para las esquinas (2 m)	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	10,000
Manigueta	2	3	1,470	2,940	980
Cordón elástico (100 m)	4	3	1,800	7,200	2,400
Agarradera del portillo	2	3	1,900	3,800	1,267
Subtotal				185,140 (\$32)	38,887 (\$69)
Total				210,367 (\$366)	39,566 (39,910) $\bar{x}$ =\$69

\* Los valores en paréntesis corresponden al cultivo de teca en sus 16 años.

En el modelo de baja inversión, se asumió que la persona productora establece 2 franjas por hectárea, pero utilizando el perímetro de la finca o una combinación de ambas (Figura 1).

Los costos de mantenimiento fueron constantes durante los primeros 4 a 5 años, debido a que el programa de control de malezas se mantuvo activo y demandó una atención importante para lograr reducir la competencia con gramíneas y otras plantas. En un ciclo completo de producción de melina, en 8 años, se estimó este rubro en ₡34 242 por hectárea.

Para el MAI basado en plantaciones de melina, se puede observar en la Figura 2 que los

mayores costos ocurrieron en los años 0, 1, 5 y 8 (49,6%, 11,2%, 10,6% y 9,3% respectivamente). El año de establecimiento de la plantación, por lo general es 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 incrementaron los costos. En el año 5 y 8 se efectuó el segundo aprovechamiento y la cosecha final. Esto explica por qué los costos son mayores, ya que se registró un aumento significativo debido a la actividad de aprovechamiento de los árboles de melina. Similar efecto ocurrió en las franjas de teca al año 16 (Figura 2, derecha).

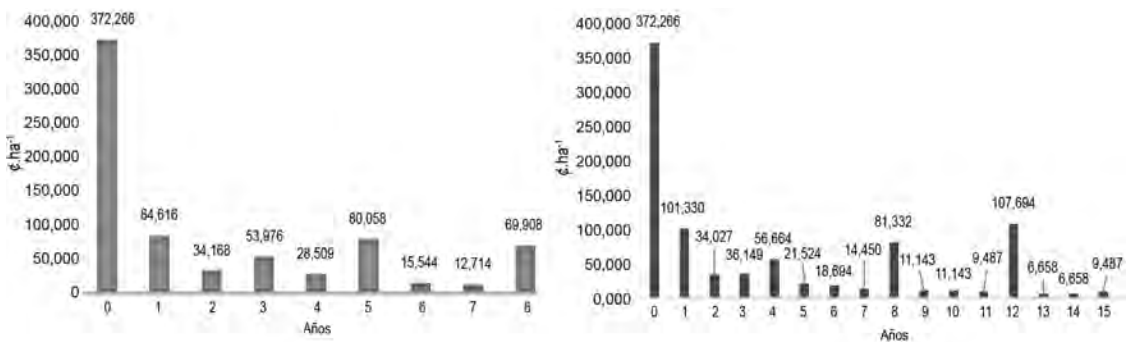


Figura 2. Costo anual de establecimiento y manejo de 150 árboles.ha<sup>-1</sup> en franjas de melina (arriba) y teca (abajo), dentro de un sistema silvopastoral de alta inversión (precios nominales de junio 2017).

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 coincidieron con los años en que se planearon raleos y cosecha final según el paquete tecnológico. Esos costos representaron 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 representó un 41 a 43% de los costos totales que correspondieron aproximadamente a 22,4 jornales.ha<sup>-1</sup> en un periodo de 8 años para melina y 29,45 jornales.ha<sup>-1</sup> en un ciclo

de 16 años para teca. Esto significó un costo total de ₡314 662 y ₡416 640, respectivamente. La cerca eléctrica ocupó 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.

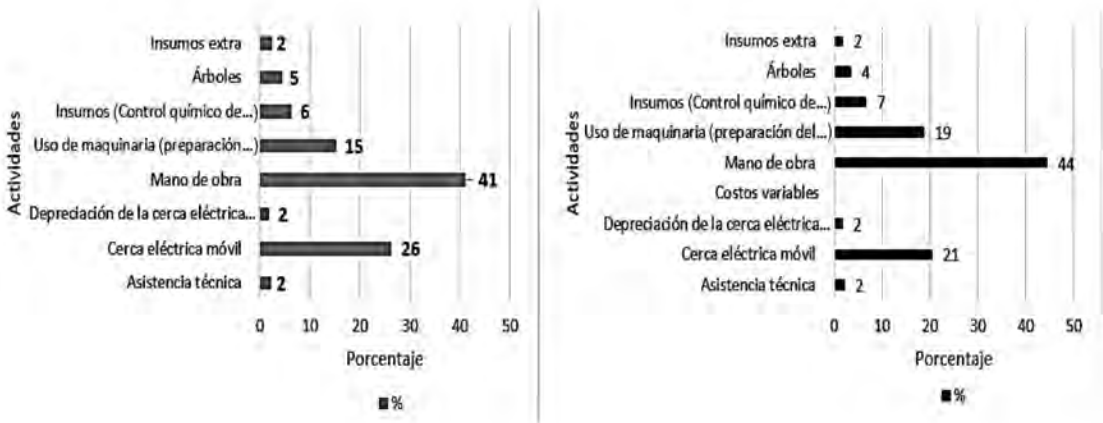


Figura 3. Distribución del costo de establecimiento de árboles en franja, como parte del modelo silvopastoril de alta inversión, basado en melina (izquierda) y teca (derecha). Con precios nominales de junio del 2017.

En las Tablas 4, 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 representaron el rubro mayor (31 a 32%), seguido por el control de malezas (13,75 a 15%). En general, el mantenimiento y manejo de las 2 franjas.ha<sup>-1</sup> requirió

de 16,4 jornales en melina y 23,6 en teca. El buen manejo inicial de la gramínea dentro del SSP propuesto, fue fundamental para evitar la competencia con los árboles. La prospección para el control de plagas y enfermedades (8 y 10% de los costos) se concentró principalmente durante los primeros 5 años para prevenir el ataque o eliminar a tiempo el material infectado.

Tabla 4. Costos de mano de obra para el cultivo anual de árboles de melina en franjas, como parte del modelo silvopastoril de alta inversión.

Actividad	Rendimiento (J)								Cantidad	Mano de obra(J) Rend*Cant	Costos (t.ha <sup>-1</sup> )	%	
	0	1	2	3	4	5	6	7					8
Control de maleza con motoguadña			2	2	2	1	1	1	1	11	2,25	31,834	13,75
Rodajea manual			2							2	0,80	11,319	4,89
Control químico de malezas			3	3	3	2	2	2		18	3,11	44,002	19,01
Fertilización			1							1	0,35	4,952	2,14
Prospección y control plagas y enfermedades			1	1	1	1	1	1		5	1,30	18,393	7,95
Poda deshija			2							2	0,4	5,659	2,44
Poda de formación y recuperación de dominancia apical			2							2	1	14,148	6,11
Primera poda			1							1	0,3	4,245	1,83
Deshija o eliminación brote basal				1						1	0,3	3,537	1,53
Poda baja				1						1	0,5	7,074	3,06
Poda media					1					1	0,5	7,074	3,06
Poda alta						1				1	0,5	7,074	3,06
Raleos y cosecha final									1	3	5,10	72,157	31,00
Total											16,41	231,468	100

Tabla 5. Costos de mano de obra para mantenimiento y manejo anual del cultivo de árboles de teca en franjas, en el modelo silvopastoril de alta inversión.

Actividad	Rendimiento (J)		Años												Cantidad	Mano de obra (J) Rend*Cant	Costo (¢.ha <sup>-1</sup> )	%
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9-11	12	13-14	16					
Control de maleza motoguadña	0,24	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	0,177	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	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)	0,170			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	1,87									1	1	1	1	4	7,50	106,114	32	
Total															23,6	333,480	100	

Tabla 6. Costos de establecimiento de la cerca viva, alrededor de 2 franjas de 100 m de longitud y 6 m de ancho, dentro de un sistema silvopastoril (1 US \$ = ₡575, precios nominales de junio 2017).

Insumos	Cantidad	Precio/unidad (₡)	Costo (₡.ha <sup>-1</sup> )
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	1,5 Jornales		17,078 (\$29)
Costo Total			84,130 (\$146)

### Modelo silvopastoril de baja inversión (MBI)

En el modelo de baja inversión, los costos difieren en el tipo de cerca, ya que no incluyen la preparación del terreno. El costo del jornal fue levemente inferior por incluir el pago voluntario de la seguridad social. Por tanto, los costos totales de mano de obra.ha<sup>-1</sup> para plantación de melina fue de ₡231 468, que correspondió aproximadamente a 16,4 jornales en un periodo de 8 años. Mientras que con teca, se debió invertir aproximadamente ₡333 480.ha<sup>-1</sup>, y representaron 23,6 jornales en un periodo de 16 años. En ambas especies, ese costo significó el 45% del costo total en 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 requirió invertir un total de ₡80 000 y ₡144 000, respectivamente. Finalmente, la instalación de la cerca viva presentó un costo de ₡67 052 (9%), que con la mano de obra llegó a ₡84 130 (Tabla 6).

En la Tabla 7, se puede apreciar en detalle el costo total.ha<sup>-1</sup> para los 2 modelos propuestos (MAI y MBI) y para cada especie. Debido a que la melina tiene un ciclo de 8 años, el costo de la cerca mostró mayor relevancia, ya que alcanzó casi un 50% de su costo total en el MAI y de casi un 4% en el MBI.

Tabla 7. Costo total del cultivo de árboles en franja, en el modelo silvopastoril de alta (MAI) y en el de baja inversión (MBI) para melina y teca, con costo nominal a junio 2017.

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 de cercas	372,266	372,266	49,6	215,634	215,634	39,51
Mantenimiento y manejo	299,493	450,552	39,7	250,105	355,414	45,83
Raleos y cosecha	80,000	144,000	10,6	80,000	144,000	14,66
<b>Total</b>	<b>751,759</b>	<b>966.818</b>	<b>100</b>	<b>545,739</b>	<b>715,548</b>	<b>100</b>



## DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación indican que el costo total de establecimiento de melina en franjas, que incluyeron las cercas, fue de ₡372 266 para el modelo de alta inversión (MAI) y de ₡215 133 para el de baja inversión (MBI), que presentaron una diferencia de 45,6% (Tabla 7). Esta diferencia se explica principalmente porque en MAI se incluyó una cerca eléctrica y en el de MBI, una cerca viva convencional. El costo de instalar una cerca eléctrica representó un 20% del costo total de establecimiento y manejo de los árboles en franja del SSP. 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 descendió considerablemente, esto es, solo ₡13 247.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, en el caso de siembra de melina y ₡16 560.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> en el caso de siembra de teca. En el MBI, la relación de costos fue mucho menor, tal y como se presumió al utilizar una cerca convencional, situación que se adapta mejor a la condición usual de pequeñas y medianas personas productoras, donde se aprovechan mejor los mismos recursos de la propiedad, con posibilidad de establecer el cultivo de árboles en franjas en la periferia de los potreros y no con alta intensidad.ha<sup>-1</sup>, como lo establece el modelo respectivo. Así se requiere solamente el establecimiento de la cerca interna para completar la protección de los árboles en franja del SSP. Adicionalmente, el costo de mano de obra también fue menor, ya que se presumió que la persona dueña de la propiedad paga su seguro voluntario.

Si se compara este costo con el del establecimiento de una plantación forestal regular en bloque con 833 árboles.ha<sup>-1</sup> (₡642 000, González 2014, ₡632 500, \$1100, Kottman 2013), puede observarse que cultivar 150 árboles en este sistema silvopastoril de MAI y MBI, presentó un costo aproximado de tan solo un 50% y un 33% respectivamente. Si se toma en cuenta que más del 50% del costo del cultivo de árboles en franjas corresponde a las cercas, su valor correspondió entonces entre un 17,5% a un 25% de una plantación compacta convencional. Podría

también, presumirse que esta relación de costos es de 1/5 entre ambos sistemas. Debe también señalarse que un SSP es un concepto integrado entre producción forestal y ganadera. Por tanto, el costo de las cercas propone el ser compartido entre ambas actividades.

Debe mencionarse aquí el supuesto con que se construyó la base de datos, donde se indicó que, el SSP de baja inversión (MBI) y el de alta inversión (MAI), no afectaron de manera diferente la productividad y tasa de crecimiento del cultivo de árboles en franja. Se asumió que se mantuvo constante los 8 años para melina y los 16 años para teca. Fue de esperar, que a mayor inversión de tecnología, los árboles presentarían una mayor tasa de crecimiento, y por tanto, una reducción de entre 1 o 2 años para llegar a cosecha final.

En el caso de la melina, la relación sería de 150 árboles.ha<sup>-1</sup> en el SSP vs 625.ha<sup>-1</sup> en bloque compacto, que implicó una proporción de 4,17 ha en SSP para plantar la misma cantidad de árboles. La relación en el costo de ambas modalidades de plantación fue de ₡752,480 del SSP \* 4,17 ha vs ₡2 773 913 (González 2014); 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 compara con los costos del modelo de baja inversión (MBI), la relación de costos sería positiva para el SSP. El costo de las 4,17 ha en SSP fue de ₡2 273 912, un 18% más económico.

En el caso de la teca, la relación del número de árboles fue de 5,55 ha de SSP para plantar los mismos 833 de la hectárea compacta, aunque los costos fueron ₡5 373 066 lo que significó un 41% más costoso 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 fueron de ₡3 968 123, que superó en un 4% los costos de la hectárea plantada en forma compacta o convencional.

Del costo total del cultivo de árboles en las franjas, la mano de obra fue 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 de las franjas del SSP, pudieron ser uno de los elementos que explican la poca 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 el costo total.ha<sup>-1</sup> fue de ₡1 318 800 (US \$2355). Indica también que la mayor rentabilidad se alcanzó en fincas con sistemas de producción de doble propósito y carne.

Para optimizar la inclusión de árboles en franjas en el SSP, se propone diseñar otros espaciamientos o distribuciones espaciales, que permitan aumentar el número de individuos en la franja, su productividad y calidad, con los mismos costos de establecimiento. Podría también analizarse la opción de plantar a mayor densidad inicial, de modo que posibilite uno o dos raleos comerciales, aproximadamente a los 3 y 5 años en melina y 5 y 8 años en teca, que supondría un mejor flujo de caja y de ingresos con una mejor relación de costos del sistema. Los diseños de SSP podrían ser mejorados si se revisa la capacidad de carga (área basal) que soporta el sistema y su relación con el crecimiento diamétrico. Estudios preliminares, de espaciamientos dentro de estas franjas, están demostrando que las 2 hileras de borde registran un crecimiento diamétrico mayor al de la hilera central (Murillo y Badilla 2019), tal y como sería esperable. Por tanto, un nuevo diseño SSP podría incluir una mayor densidad de árboles, pero únicamente en las 2 hileras de borde, con 2 objetivos: 1) aumentar la captura de carbono y 2) aprovechar su mayor tasa de crecimiento para aumentar su productividad.

Si se quisiera relacionar el modelo de costos a su valor del 2020, se puede observar que el índice de precios del consumidor ha sido

de un promedio entre 1,5 y 2% anual, entre el periodo del 2017 y el 2020 (IPC 2020); la relación del colón con el dólar se ha mantenido casi exactamente con el mismo valor de ₡575 en este periodo de años; mientras que el costo del jornal se ha apreciado en un 9% con un monto de ₡9711 en el 2017 hasta ₡10 620 en el I semestre del 2020 (MTSS 2020), con una proporción muy cercana al de la tasa de inflación del 2% anual. Puede observarse que aunque el conjunto de datos pudo aumentar levemente del 2017 al 2020, la baja inflación del periodo y el mantenimiento del dólar en un valor exactamente igual, permite asumir que el conjunto de las relaciones y proporciones de los costos de todo el modelo, se mantienen muy similares al día de hoy.

Se considera que esta base de datos comprende todas las labores en que se incurren para establecer el componente forestal en un SSP. Con los resultados, se esperaría que se motive el sector ganadero para que incorpore el componente forestal en sus fincas con un enfoque productivo. La producción ganadera, junto con la producción de madera, pueden proporcionar aportes de carbono neutralidad del país.

## CONCLUSIONES

El costo total para producir madera en 2 franjas.ha<sup>-1</sup> con 150 árboles en el modelo de alta inversión del SSP, se estimó en ₡751 759 (US \$1307), en un ciclo de 8 años con melina. Mientras que, con teca en un ciclo de 16 años, el costo total estimado fue de ₡966 818 (US \$1681). Para el modelo de baja inversión el costo total del cultivo de árboles en franjas en SSP, para melina, es de ₡545 739 (US \$949) y para teca ₡714 548 (US \$1242).

El costo de la mano de obra fue el rubro de mayor peso dentro de la estructura de costos, con un 41% y 44% en melina y teca, respectivamente, seguido por el de la cerca eléctrica.

Para plantar en un SSP la misma cantidad de árboles.ha<sup>-1</sup>, de una plantación compacta en bloque, se requiere de 4,17 ha en melina y 5,5 ha en teca.

Los resultados del estudio destacaron la importancia de promover el uso de especies maderables de alto valor comercial, que permitan mejorar los ingresos de la finca. La investigación realizada tuvo como principal objetivo generar información sobre el costo de plantar árboles en franjas en fincas ganaderas, para motivar el fomento de su conversión en un sistema silvopastoril eficiente, de mayor impacto económico, social y ambiental.

### 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. Hay un vacío de información que persistirá hasta que nuevos estudios lo clarifiquen.

En trabajos futuros, se deberán analizar financieramente la conveniencia y los atractivos que ofrece cada opción evaluada. Será importante determinar el monto de la inversión requerida en cada caso y su periodo de recuperación, con el propósito de diseñar y optimizar opciones de financiamiento del Fondo de Nacional de Financiamiento Forestal.

Se recomienda evaluar otros arreglos espaciales en la distribución de los árboles dentro de las franjas, con el propósito de aumentar la producción potencial de madera y la fijación de carbono del sistema silvopastoril.

Será importante revisar y proponer mejoras en las prácticas silviculturales que demanden mayor cantidad de mano de obra.

### RECONOCIMIENTO

Esta investigación recibió apoyo de los fondos interuniversitarios de investigación FEES/CONARE; de la Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal GENFORES, de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, de la Escuela de Ingeniería en Agronomía del TEC, del Instituto de Investigaciones y

Servicios Forestales de la Universidad Nacional, y del Centro de Investigaciones en Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica.

### LITERATURA CITADA

- 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. *In* 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. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical (CATIE). p. 169-188.
- CORFOGA (Corporación Ganadera). 2015. La ganadería sostenible en Costa Rica es una realidad. (Video). San José Costa Rica, CORFOGA .1 video. 6:16 min., son., color.
- 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 (en línea). San José, Costa Rica. Consultado jun. 2015. Disponible en <http://www.fao.org/news/story/es/item/198166/icode/>
- Filomeno, SR. 2018. Potencial de mejoramiento genético en *Dipteryx panamensis* Pittier (FABACEAE). Tesis M.Sc. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 166 p.
- FONAFIFO. 2019. Visión de futuro 2040 y Plan Estratégico Institucional 2020-2025. (en línea). San José, Costa Rica. 22 p. Consultado 26 de mar. 2020. Disponible en <http://www.fonafifo.go.cr/media/2608/pei-2020-2025.pdf>
- Guevara, M. 2007. Análisis de costos y rendimientos de labores de mantenimiento y manejo de plantaciones de Acacia (*Acacia mangium*) propiedad de la empresa Ecodirecta S.A. Tesis Lic. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 145 p.
- Guevara, M; Murillo, O. 2009. Costos y rendimientos de ocho tipos de poda en plantaciones jóvenes de *Acacia mangium* Willd en la zona norte de Costa Rica. *Kurú* 6(17):51-57.
- González, E. 2014. Determinación del momento óptimo de cosecha final en una plantación de *Tectona grandis* de la zona norte de Costa Rica. Gestión de Rec. Naturales y Tecnologías de Producción. Tesis M.Sc. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 41 p.
- 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, Costa Rica). 2015. VI Censo Nacional Agropecuario. Resultados Generales. Informe 2014. San José, Costa Rica. 147 p.
- IPC (Índice de Precios al Consumidor de Costa Rica). 2020. Banco Central de Costa Rica. San José, Costa Rica. Consultado feb. 2020. Disponible en <https://datosmacro.expansion.com/ipc-paises/costa-rica>
- Kottman, F. 2013. PanAmerican Woods S.A. Costa Rica. *In De Camino*, R; Morales, JP (eds.). Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades. *Boletín Técnico* 397. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 86-111.
- MAG CORFOGA INTA CNPL PNUD. 2017. Manual Operativo del Plan Piloto Nacional del NAMA Ganadería. 2 ed. San José, Costa Rica, Programa Nacional de Ganadería, MAG. 56 p.
- Méndez, E; Beer, J; Faustino, J; Otárola, A. 2000. Plantación de árboles en línea. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 134 p.
- MTSS (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social). Lista de salarios de Costa Rica. 2020. San José, Costa Rica. Consultado feb. 2020. Disponible en [http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista\\_salarios\\_2020.pdf](http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista_salarios_2020.pdf)
- Murgueitio, E; Ibrahim, M. 2008. Ganadería y medio ambiente en América Latina, Ganadería del futuro: investigación para el desarrollo. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. p. 19-40.
- Murgueitio, E. 2009. Incentivos para los sistemas silvopastoriles en América Latina. *Revista Avances en investigación agropecuaria* 13(1):3-18.
- 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. Cartago, Costa Rica, Proyecto interuniversitario CONARE. s.p.
- Murillo, O, Badilla, Y. 2015. Definición de una metodología de muestreo de contratos del programa de pago por servicios ambientales para la medición de la biomasa para el desarrollo de proyectos de comercialización de créditos de carbono. *Informe Final de Consultoría*. FONAFIFO, Dirección de Desarrollo y Comercialización de Servicios Ambientales, San José, Costa Rica. 108 p.
- 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. 78 p.
- Murillo, O; Leitón, M; Ospino, M; Badilla, Y Paniagua, W; Valverde, A. 2015b. Hacia un nuevo sistema silvopastoril. San José, Costa Rica. *Colegio de Ingenieros Agrónomos. Revista Germinar* 5(17):16-17.
- Murillo, O; Torres, G; Carvajal, D; Badilla, Y. 2017. Costos de producción de árboles de navidad (*Cupressus lusitanica* Mill.) en Costa Rica. *Revista Agronomía Costarricense* 41(1):81-93.
- Murillo, O. Badilla, Y. 2019. Proyecto de investigación. Optimización del componente forestal del programa nacional de fomento de sistemas silvopastoriles carbono-neutral. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Vicerrectoría de Investigación y Extensión/ Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 22 p.
- Ochoa, KD; Valerezo, JM. 2014. Caracterización y análisis de rentabilidad de los sistemas de producción ganaderos presentes en el cantón Yantzaza, Ecuador. *Revista CEDAMAZ* 4(1):76-85.
- 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. 20 p.
- 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. Tesis Ph.D. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 47 p.
- Vallejos, J. 2019. El cultivo del pilón (*Hyeronima alchorneoides* Allemão) en Costa Rica. Tesis M.Sc. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, Costa Rica. 97 p.
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Murgueitio, E. 2010. Producción y rentabilidad de sistemas silvopastoriles: Estudios de caso en América Central. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 78 p.



