

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

Informe final del proyecto de investigación:

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO
FORESTAL DE PLANTACIONES COMBINANDO BÚFALOS DE AGUA CON
MAQUINARIA (BÚFALOS II)**

Ing. Alejandro Meza Montoya (Coordinador)

Ing. Verónica Villalobos Barquero

Junio, 2019

Tabla de contenido

Código y título del proyecto	3
Autores y direcciones.....	3
Resumen.....	3
Palabras clave.....	3
Introducción	4
Marco teórico.....	5
Metodología.....	8
Resultados.....	11
Discusión y conclusiones.....	32
Recomendaciones.....	42
Agradecimientos (opcional).....	43
Referencias.....	44
Apéndices (opcional).....	46

Código y título del proyecto

“Diseño y evaluación de un sistema de aprovechamiento forestal de plantaciones combinando búfalos de agua con maquinaria” (Búfalos II). Código: 1401074

Autores y direcciones

Ing. Alejandro Meza Montoya, MAE (Coordinador)

almeza@itcr.ac.cr

Ing. Verónica Villalobos Barquero, Máster

vvillalobos@itcr.ac.cr

Resumen

Este proyecto brinda el diseño y la evaluación desde el punto de vista de eficiencia, producción y costos, de un sistema de arrastre de madera de plantaciones forestales en dos fases, combinando búfalo de agua con tractor agrícola. El búfalo de agua realiza la primera etapa del arrastre desde el sitio de corta hasta el margen de la pista de arrastre del tractor agrícola y este realiza la segunda fase desde ese sitio hasta el patio de carga.

Se evaluaron 3 sitios diferentes correspondientes a 3 plantaciones forestales de la especie *Gmelina arborea*. Para los sitios 1 y 2 se tuvo incidencia parcial sobre la planificación y supervisión de la operación, por el contrario, en el sitio 3 se realizó una planificación adecuada y se brindó supervisión en toda la operación, por lo que los resultados obtenidos en este sitio reflejan el objetivo de esta investigación. Se realizó un estudio del trabajo mediante el método del muestreo para obtener la información de eficiencia y producción de la operación de arrastre, tanto para el búfalo como para el tractor agrícola; además se realizó una recolección completa de los datos requeridos para el cálculo del costo de producción.

Se obtuvo una eficiencia de 77,44% para el búfalo de agua en la primera fase del arrastre con una producción de 1,73 m³/h; en tanto para el tractor agrícola en la segunda fase se obtuvo una eficiencia de 88,10% y una producción de 3,58 m³/h. El costo de producción del búfalo de agua determinado es de ₡ 2635,99/m³ y para el tractor agrícola se determinó un costo ₡ 3013,87/m³. Al evaluar el sistema completo (planificación, corta, arrastre con búfalo, arrastre con tractor y troceo y apilado) se determinó un costo de ₡ 12021,64/m³. (US\$ 1 = ₡ 598)

La evaluación del sistema de aprovechamiento permite concluir que el uso de un doble juego de cadenas para realizar el arrastre con el tractor agrícola permite una mayor fluidez al sistema y por tanto una mayor eficiencia y producción, igual efecto tiene la supervisión profesional de la operación.

Palabras clave

Arrastre, tracción animal, eficiencia en arrastre, producción en arrastre, costos de arrastre.

I. Introducción

Los sistemas de producción de madera utilizados en la actualidad deben de asegurar la sostenibilidad de los recursos naturales y/o forestales en el tiempo, de manera que se garanticen los bienes y servicios que proveen los bosques naturales y las plantaciones forestales a la población costarricense. Para esto, es necesario aplicar un adecuado paquete tecnológico que incluya prácticas sostenibles, técnicas apropiadas y planificación en todas sus etapas. Estos factores, junto con la calidad de los procesos, la productividad, la calidad del producto, y la constante evaluación de las operaciones, respaldan el éxito en estas labores forestales.

El aprovechamiento forestal de las plantaciones constituye una de las etapas más importantes dentro de este sistema, ya que, durante su ejecución se podría incurrir en altos costos de operación, daños ambientales y daños a las trozas que van siendo extraídas o bien a los árboles remanentes. De esta manera, esta operación debe de ser muy bien planificada y ejecutada siguiendo los métodos y técnicas operacionales correctas. El aprovechamiento forestal de impacto reducido, asegura que todas las labores dentro de las etapas de corta, arrastre, troceo y carga, se realicen mediante la aplicación de técnicas apropiadas y con las tecnologías que aseguren el menor impacto ambiental.

Actualmente en Costa Rica, la etapa de arrastre, también conocida en el aprovechamiento forestal de plantaciones como transporte menor, se realiza en su mayoría con bueyes y con tractor agrícola, algunas veces combinados o bien cada método por aparte. Más recientemente se ha incluido el búfalo de agua como un método más de arrastre, sin embargo, es muy poco conocido y no está inserto dentro de este sistema de aprovechamiento forestal, más bien, los animales se utilizan en forma independiente, de manera que no pueden optimizar su rendimiento. El común denominador de esta etapa es la falta de planificación de pistas y patios, así como la ausencia de métodos mecánicos que se combinen con los animales, lo que conlleva a muchos tiempos muertos, baja producción y costos altos.

Por esta razón, esta investigación pretendió diseñar y evaluar un sistema de aprovechamiento de plantaciones forestales con la técnica de arrastre en dos fases, utilizando los búfalos de agua en la primera etapa, del sitio de corta al patio de acopio y el tractor agrícola para llevar la madera del patio de acopio al patio final de carga, de manera que se compruebe la funcionalidad del uso de animales bajo estas condiciones. El sistema de aprovechamiento diseñado permitirá mejorar la estructura de costos del sistema de producción de madera, mejorando la productividad y la eficiencia, disminuyendo el impacto producido y por ende disminuyendo el costo de producción por metro cúbico.

II. Marco teórico

2.1 USO DEL BÚFALO DE AGUA EN LABORES AGRÍCOLAS Y FORESTALES ALREDEDOR DEL MUNDO

La fuerza de tracción animal se utiliza en prácticamente todo tipo de medio ambiente y en todos los continentes del mundo, y las restricciones dependen mucho de la ubicación y el tipo de animal que se utiliza (Pearson, 2003). Más comúnmente, la tracción animal es utilizada en zonas donde los tractores agrícolas no pueden llegar por ejemplo en zonas con pendientes altas, en lugares sumamente lodosos o en empresas donde la escala de producción y el financiamiento prohíben el uso de tecnología especializada y mecanizada.

Existen diferentes animales pueden ser utilizados para labores de tiro. El caballo, las mulas y los burros muchas veces son escogidos por encima de los bovinos debido principalmente a la velocidad con que realizan las labores, sin embargo, la escogencia de bueyes o búfalos proporcionan, además de una fuerza extraordinaria, constancia en el trabajo y una ganancia extra ya que al final de la vida útil del animal este puede ser vendido para carne.

A continuación, se citan algunos ejemplos de la utilización de búfalos de agua (*Bubalus bubalis bubalis*) en labores agrícolas y forestales.

Desde Asia el búfalo fue llevado a Europa, donde en la actualidad se le utiliza mayormente para la producción láctea, en países como Italia, Bulgaria, Rumania y Hungría. Posteriormente el búfalo fue introducido en Sudamérica por los europeos para ser utilizados como animal de tracción. Dada su gran rusticidad, longevidad y fuerza tuvo una rápida difusión en los países del norte de Sudamérica, especialmente en Venezuela, Colombia y Brasil (Almaguer, 2007).

Para el caso específico de Colombia, el auge de la tecnología se vivió hasta los años cincuenta, época de la llegada de los tractores. La introducción de la mecanización en la labranza, en las zonas de topografía plana con gran potencial agrícola, produjo el desplazamiento de los animales de tiro a las regiones de ladera o pendientes, ocasionando que el conocimiento del trabajo con animales quedara en manos de la gran masa de pequeños productores, que generalmente carecen de recursos económicos. Por esta razón el uso de la tracción animal se relaciona con atraso tecnológico y pobreza (Galindo, 1993). Poco a poco la utilización de tractores en labores agrícolas y forestales ha llevado a la desaparición paulatina de los animales en estas actividades.

Sin embargo, Colombia se ha caracterizado por ser un país con la existencia de grandes extensiones de tierras inundables en regiones caracterizadas por una marcada estacionalidad de lluvias, con suelos de mal drenaje y baja fertilidad, en las que el ganado vacuno presenta problemas para producir eficientemente, por lo tanto se ha ido incrementando la producción del búfalo de agua (*Bubalus bubalis bubalis*) que se ha convertido en una especie con gran potencial para la producción de carne y leche de primera calidad (Angulo, Restrepo y Berdugo, 2005).

Otro de los principales usos que se les da a los búfalos de agua en Colombia, es el acarreo de los frutos de palma aceitera dentro de las plantaciones ya que más hacia el centro del país, se encuentra localizada la gran industria de la palma aceitera (Nigrinis, 2015).

Además de Colombia, los búfalos de agua han sido fuertemente utilizados en países como Venezuela por sus características rurales o más recientemente en Cuba.

En Venezuela, la actividad agrícola está soportada en gran parte por pequeños productores que producen una gran cantidad de alimentos; muchas de estas explotaciones son de tipo familiar con pequeñas extensiones de tierras, donde algunos cambios tecnológicos no han sido incorporados, tal es el caso del tractor debido al alto costo que representa la adquisición del mismo (Montiel, 2002). Por otro lado, los búfalos han sido utilizados para el acarreo de madera y el transporte de la producción de leche (cantaras) de una finca a otra.

Los rebaños bufalinos en Cuba se encuentran distribuidos en las 14 provincias y en el municipio especial Isla de la Juventud con más de 50 000 cabezas, lo que significa que en 22 años la población tuvo un crecimiento de 21,7%, lo que ubica a esta especie entre las de mayor tasa de crecimiento en el país.

Simón y Galloso (2011) destacan que a pesar de ser reciente la crianza de búfalos en Cuba, ha tenido un notable desarrollo motivado principalmente por las características de rusticidad, alta plasticidad y adaptación a lugares donde los bovinos no sobreviven, han sido utilizados principalmente para la producción de carne y leche enfocados principalmente a la producción de queso y productos lácteos.

2.2 SISTEMAS TECNOLÓGICOS EN EL APROVECHAMIENTO DE PLANTACIONES FORESTALES.

Un sistema es un conjunto de factores, pasos, etapas o acciones, que interactúan entre sí en una forma ordenada y lógica, para lograr los objetivos previamente establecidos (Meza-Montoya, 2004). Según Wadsworth (1997), el concepto de sistema puede ser aplicado a innumerables procesos de todos los sectores productivos en el mundo, sin embargo, para que un conjunto de objetos pueda actuar como un sistema, tienen que existir relaciones o conexiones de una forma u otra entre las partes individuales que constituyen el sistema.

En el sistema de producción de madera reforestada, la materia prima está viva, crece todos los días y requiere actividades de manejo para lograr su óptimo crecimiento, lo que obliga a manejar un sistema flexible, que permita ajustarse a posibles cambios de variables exógenas, como son el cambio climático, las plagas, enfermedades, desastres naturales, aspectos sociales, condiciones de mercado, entorno económico, etc. Generalmente, el sistema de aprovechamiento de plantaciones forestales está compuesto por siete etapas principales, estas son: la planificación, la red vial, la corta, el arrastre, el troceo, la carga y el transporte; pudiendo existir modificaciones de acuerdo con los objetivos de la plantación y aspectos específicos de la especie, topografía y clima entre otras.

La etapa de arrastre es la operación del aprovechamiento forestal que consiste en el traslado de la madera, desde el lugar de corta, hasta los patios de carga. Esta etapa requiere de mucha planificación dentro del sistema de aprovechamiento, para lograr la eficiencia requerida con el fin de obtener costos adecuados y un bajo impacto (Meza-Montoya, 2004).

En Costa Rica existen diferentes métodos para realizar el arrastre de madera de plantaciones forestales. La tracción animal y el uso de tractores agrícolas son dos de los métodos más utilizados que combinados podrían presentar ventajas sobre otro tipo de sistemas de arrastre de madera reforestada.

El uso de búfalos de agua en las labores de arrastre, es una alternativa de bajo costo, poco destructiva y de alto impacto social y económico (Cordero-Quesada citado por Herrera, 1994).

Bajo el concepto de sistema los búfalos deben ser utilizados en una primera fase del arrastre, trasladando los fustes desde el sitio de corta hasta un patio de acopio, ya que se genera alteración mínima del ambiente debido a que las pistas de saca son angostas, la remoción del suelo es mínima y por la baja velocidad a la que viajan, se reducen los daños a los árboles remanentes, además de que pueden ingresar en sitios de difícil acceso ya sea por pendiente, humedad, presencia de obstáculos u otro factor.

Complementando la etapa de arrastre, como segunda fase se debe utilizar un método de mayor capacidad de carga y velocidad, en Costa Rica el que mejor se ajusta es el tractor agrícola por ser un método eficiente en distancias largas sobre pistas amplias o bien en sitios planos donde la alteración al suelo haya sido mínima. En esta etapa el tractor agrícola debe transitar únicamente por las pistas de arrastre transportando los fustes desde el patio de acopio, donde fueron dejados por

los animales, hasta el patio de carga, evitando severos daños ambientales causados por el paso de los tractores dentro de toda la plantación.

Los búfalos de agua no pueden trabajar al mismo ritmo ni la misma jornada que un tractor agrícola, pero su uso dentro de la plantación reduce el porcentaje de daños causados al ambiente y a la masa remanente en caso de raleos durante la extracción de madera.

La combinación de estos dos métodos resultará en una disminución del tiempo del ciclo de trabajo, un aumento en el volumen de madera arrastrado por ciclo y por ende un aumento en la producción de la operación con repercusiones positivas para el ambiente (Meza-Montoya, Villalobos-Barquero. 2017).

A pesar de que existen bastantes experiencias en el uso de bueyes y en menor grado de búfalos, combinados con tractores agrícolas, no existe información documentada al respecto. De las evaluaciones de sistemas combinando animales con maquinaria que están documentadas, Cándano, Vidal, Pinto y Cardoso (2004), reportan rendimientos de 14.65 m³/h para una combinación de bueyes y tractor de oruga en plantaciones de pino de 22 centímetros de diámetro promedio y 15 metros de altura para un volumen por árbol de 0.25 m³.

Por otra parte, la evaluación de un tractor forestal articulado Caterpillar 518 realizando el arrastre en una fase en plantaciones de melina brinda rendimientos de 4.88 m³/h (distancias de 200 a 500 m). Esta misma máquina realizando el arrastre en dos tiempos, primero durante la mañana del sitio de corta hasta la orilla de una pista (distancias menores a 50 metros) y luego en la tarde, de la orilla de la pista hasta el patio de carga (distancias de 400 a 600 m) resultó con un rendimiento de 2.8 m³/h (Meza, A y Guzmán, J. 1999). La evaluación de un búfalo de agua realizando labores de arrastre en una sola fase en un raleo de *Gmelina arborea* brindó una producción de 1,11 m³/h, en tanto que el mismo animal, pero en una operación de tala rasa brindó una producción de 1,15 m³/h, en una distancia promedio de 110 m para ambos casos (Meza-Montoya, Villalobos-Barquero. 2017)

III. Metodología

3.1 OBJETIVO 1: DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO

Con la colaboración de personal profesional de ASIREA se realizaron visitas a diferentes plantaciones y se seleccionan los 2 sitios en que se aplicará el sistema propuesto, ambos con topografía plana, con la misma especie y con un área similar.

La búsqueda de un nuevo sitio coincidió con inclemencias climáticas que detuvieron todos los aprovechamientos posibles en la región Caribe, por lo que fue muy complicado encontrar una nueva plantación. Lo reducido de los sitios potenciales obligó a seleccionar una plantación en el Valle de la Estrella con la misma especie, la misma edad, condiciones de manejo diferentes y pendiente diferente y también se decidió evaluar tres sitios en lugar de dos, así es como se definieron los Sitios 1, 2 y 3 que se caracterizan en la sección de resultados.

En cada sitio evaluado se establecieron parcelas circulares de 500 m² de área, tomando en cuenta una intensidad del 5% para determinar las principales variables dasométricas de los rodales. Se midió el diámetro a 1,3 metros del suelo con cinta diamétrica y la altura comercial se determinó con el número de trozas de 2,5 metros hasta un diámetro mínimo estimado de 15 centímetros. No se realizó una clasificación de trozas por calidad puesto que el destino final de la madera en los 3 sitios era el mercado de tarimas.

Se elaboró un mapa de pistas de arrastre y patios de carga para cada sitio evaluado con la ayuda de un GPS marca Garmin, modelo Oregon 650 para la recolección de datos, mismos que fueron analizados con el programa Quantum GIS 2.14.

Con base en los resultados del inventario, la información existente y la experiencia de los investigadores, se diseñó y se caracterizó el sistema de aprovechamiento utilizado.

3.2 OBJETIVO 2: EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN DE ARRASTRE.

ASIREA realiza el aprovechamiento de las plantaciones de sus asociados a través de una empresa maderera con quien tiene una especie de convenio, por lo tanto, fue complicado tener acceso a la planificación de las actividades, sobre todo en los sitios 1 y 2, ya en el Sitio 3 los investigadores lograron un acuerdo con el propietario y tuvieron acceso a todo el proceso.

Para determinar la eficiencia de cada etapa del sistema de aprovechamiento forestal se realizó un estudio de tiempos (T) y movimientos (M) utilizando la metodología del muestreo propuesta por (Cordero-Quesada, 1998), que establece realizar observaciones cada dos minutos con el fin de determinar los porcentajes del tiempo de la jornada que consume cada movimiento. Asimismo, se clasificaron los movimientos que componen el ciclo productivo en movimientos productivos e improductivos o atrasos y se calculó la eficiencia de la siguiente manera:

$$\% E = \frac{\text{Tiempo Productivo}}{\text{Tiempo Programado}}, \text{ donde}$$

Tiempo Productivo= número de observaciones de movimientos productivos.

Tiempo Programado= total de observaciones de la jornada evaluada.

Para calcular el número de jornadas a evaluar (intensidad de muestreo) se utilizará la fórmula según el procedimiento sugerido por (Cordero-Quesada, 1998):

$$Z = \frac{Z^2 * Q}{E^2 * D}, \text{ donde:}$$

Z²= porcentaje de confianza deseado.

E^2 = error de muestreo esperado.

D= porcentaje de tiempo programado en que ocurren atrasos (expresado en decimales).

Q= (1-D) porcentaje de tiempo programado en que no hay atrasos (expresado en decimales).

Se determinó el volumen y la duración de la jornada para el cálculo de la producción. Para calcular estas variables se determinaron los metros cúbicos de cada jornada evaluada y se registró la hora inicial y la hora final de la misma.

- Para determinar el volumen se utilizó la fórmula de Smallian de la siguiente forma:

$$V = \frac{\pi}{8} * (d_1^2 + d_2^2) * L, \text{ donde:}$$

V = volumen en metros cúbicos

d_1 = diámetro en metros medido en la cara mayor

d_2 = diámetro en metros medido en la cara menor.

L = largo del fuste en metros.

- La duración de la jornada u horas programadas, se obtuvo de la evaluación de T y M, calculando la diferencia entre la hora de inicio y la hora final.
- Se determinó una producción por jornada evaluada y luego se obtuvo un promedio de todas las jornadas.

Finalmente se calculará la producción con base en la siguiente ecuación:

$$\text{Producción (m}^3\text{/h.prog.)} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Horas programadas}}$$

Se realizó un análisis estadístico (95% de confianza) a los datos de eficiencia y producción obtenidos durante la evaluación del arrastre de madera con búfalos de agua y con tractor agrícola, con el objetivo principal de determinar si existía o no diferencia significativa entre los valores de estas variables obtenidos en los diferentes sitios evaluados.

Lo primero que se realizó fue verificar si los datos de eficiencia y producción obtenidos en cada una de las fincas con ambos métodos de arrastre seguían o no una distribución normal, para esto se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilks mediante el programa INFOSTAT y se plantearon las siguientes hipótesis: H_0 : los datos siguen una distribución normal y la H_a : los datos no siguen una distribución normal. Posteriormente se llevó a cabo el análisis de varianza (ANDEVA) para comprobar si las medias de los grupos de datos son diferentes o son iguales, en esta prueba las hipótesis fueron las siguientes: H_0 : No hay diferencias entre medias y la H_a : al menos una de las medias es diferente. El análisis concluyó con la prueba específica de Tukey la cual indica la similitud o diferencia entre los grupos de datos evaluados.

En todos los sitios se utilizó corta dirigida, en función de las pistas de arrastre y extracción que se marcaron previamente. El búfalo de agua realizó la primera fase del arrastre, llevando la madera del sitio de corta hasta un patio de acopio u orilla de una pista de arrastre mientras que el tractor agrícola se encargó de realizar la segunda fase, desde el patio de acopio hasta el patio de carga.

Con base en toda la información recolectada durante la ejecución del aprovechamiento en cada sitio evaluado, se realizó una determinación de los costos de producción del aprovechamiento por metro cúbico puesto en el patio y listo para cargar.

3.3 OBJETIVO 3: PROMOCIÓN DEL USO DEL BÚFALO DE AGUA EN SISTEMAS COMBINADOS.

Se recopiló información generada en el proyecto: “Valoración y promoción de la utilización de búfalos de agua en labores de aprovechamiento de plantaciones forestales” y en este proyecto y se diseñó y elaboró un desplegable informativo.

Se realizó una búsqueda de información para complementar lo generado en el proyecto y se procedió al diseño y elaboración de un manual para selección y entrenamiento de animales para el arrastre de madera.

Se planificó y se ejecutó un día de campo en conjunto con ASIREA para hacer una demostración de la funcionalidad del sistema y de las ventajas de la planificación para obtener los mejores rendimientos de los métodos utilizados para el arrastre.

Además, en forma adicional, en conjunto con el proyecto de extensión “Fortalecimiento del uso de técnicas apropiadas en el aprovechamiento forestal de plantaciones en la región Huetar Caribe” se realizaron 4 actividades demostrativas.

IV. Resultados

4.1 PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO

4.1.1 Condición inicial:

Sitio 1: Es una plantación que presenta lotes con combinaciones de especies diferentes, melina con gallinazo, melina con teca y melina pura. Las combinaciones de especies surgieron por una alta mortalidad en el primer año, por lo que los propietarios resembraron utilizando otras especies. La edad promedio de los rodales es de 5 años y se ubica en la localidad del Cairo en Siquirres, Limón, coordenadas 9°46'21'' latitud norte y 83°00'58'' longitud oeste y es propiedad de los Hermanos Campos. El origen del material es semilla certificada del CATIE, los árboles fueron producidos en la misma finca por el señor Roger Campos. La plantación recibió un mantenimiento adecuado durante el primer año de edad, se aplicaron chapias y rodajas, sin embargo, durante los siguientes 4 años no recibió ningún tipo de mantenimiento; en cuanto al manejo, en el primer año se realizó una fertilización y una poda a la mitad de la altura total de los árboles. La evaluación se realizó sobre un lote de 2,17 hectáreas plantado con melina, teca y gallinazo; sin embargo, la recolección de datos de campo se concentró en la extracción de la melina. La topografía es plana con una red de caminos adecuada establecida previamente. Las principales variables dasométricas se muestran en el Cuadro 1.

Sitio 2: Corresponde a una plantación forestal de *Gmelina arborea* de 5 años de edad con un área de 3,38 hectáreas, propiedad de doña Elvia Jiménez, ubicada en la localidad de San Carlos en el Valle de la Estrella en Limón, coordenadas 10°26'26'' latitud norte y 83°49'25'' longitud oeste. El origen del material es clonal, pero no recibió ningún tipo de manejo desde su establecimiento. Presenta una topografía semiondulada con presencia de lomas cortas (0 a 15 metros) y pendientes fuertes (entre 15 y 30 %). Las principales variables dasométricas obtenidas en el inventario se muestran en el Cuadro 1.

Sitio 3: Corresponde a una plantación forestal de *Gmelina arborea* de 3 años de edad con un área de 6,93 hectáreas, propiedad del señor Alvin Picado, ubicada en la localidad del Porvenir en Ticabán, Guápiles, Limón, coordenadas 10°05'46'' latitud norte y 83°33'07'' longitud oeste. El origen del material es semilla certificada, la plantación ha recibido un adecuado mantenimiento y manejo durante sus primeros 3 años de edad, recibió un encalado, mecanización del terreno, una fertilización, elaboración de drenajes, poda y raleo sanitario. Las principales variables dasométricas obtenidas en el inventario se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Variables dasométricas de las plantaciones evaluadas antes de ejecutar el aprovechamiento, 2018.

SITIO	EDAD	N/ha	D (cm)	Hc (m)	Ht (m)	G (m ² /ha)	V (m ³ /ha)
1	5 años	465	22,83	4,28	15,61	20,83	125,37
2	5 años	1035	16,03	8,33	15,67	22,43	219,23
3	3 años	707	18,29	5,95	17,90	19,35	66,07

4.1.2 Red vial:

Para cada uno de los sitios se elaboró un mapa con la ubicación de las pistas de arrastre y los patios de acopio definidos posterior a los recorridos por la plantación y el análisis del inventario.

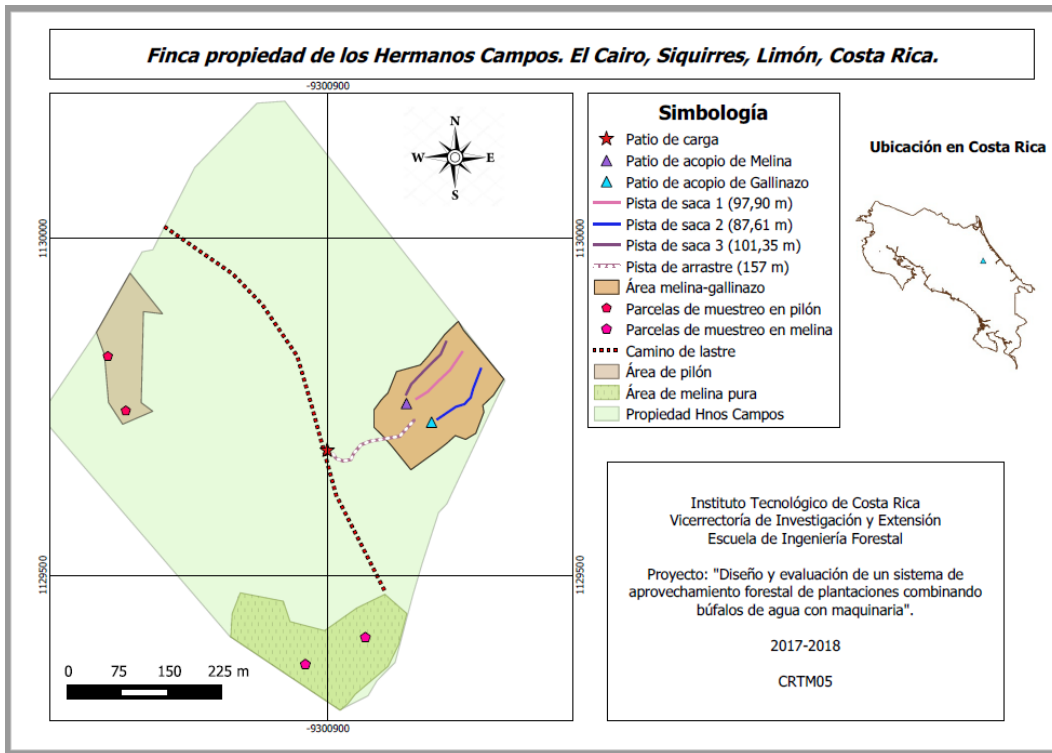


Figura 1. Mapa de patios y pistas de arrastre del Sitio 1. El Cairo, Siquirres, Limón. 2017.

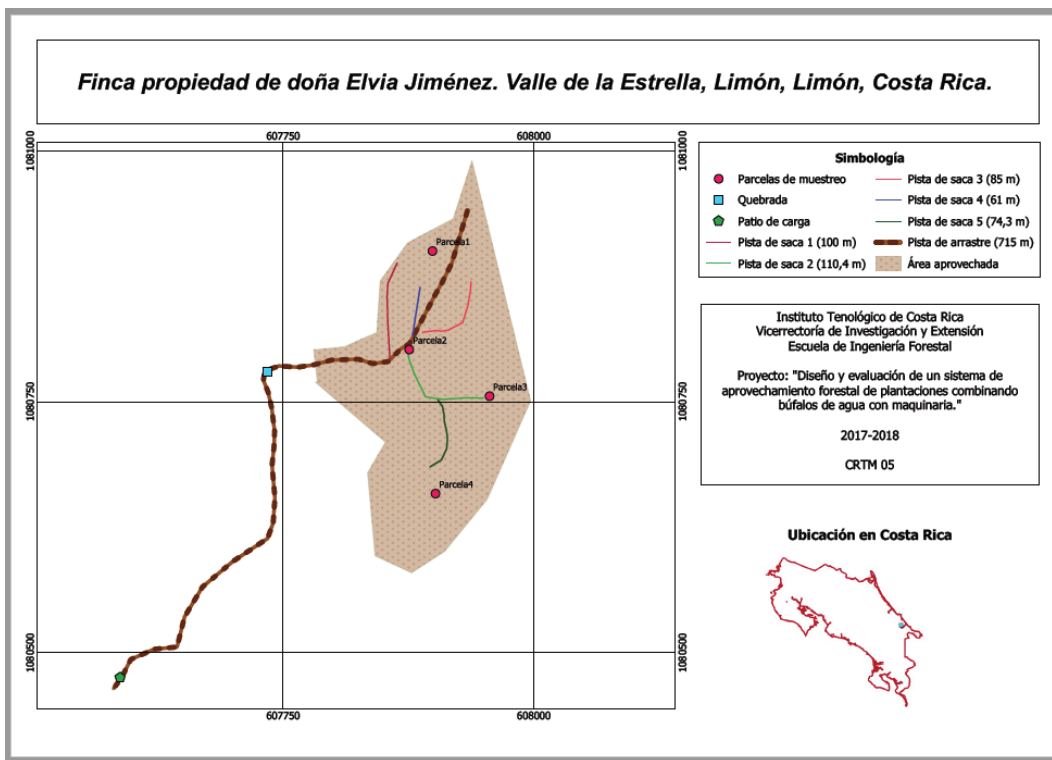


Figura 2. Mapa de patios y pistas de arrastre del Sitio 2. Valle de la Estrella, Limón. 2017

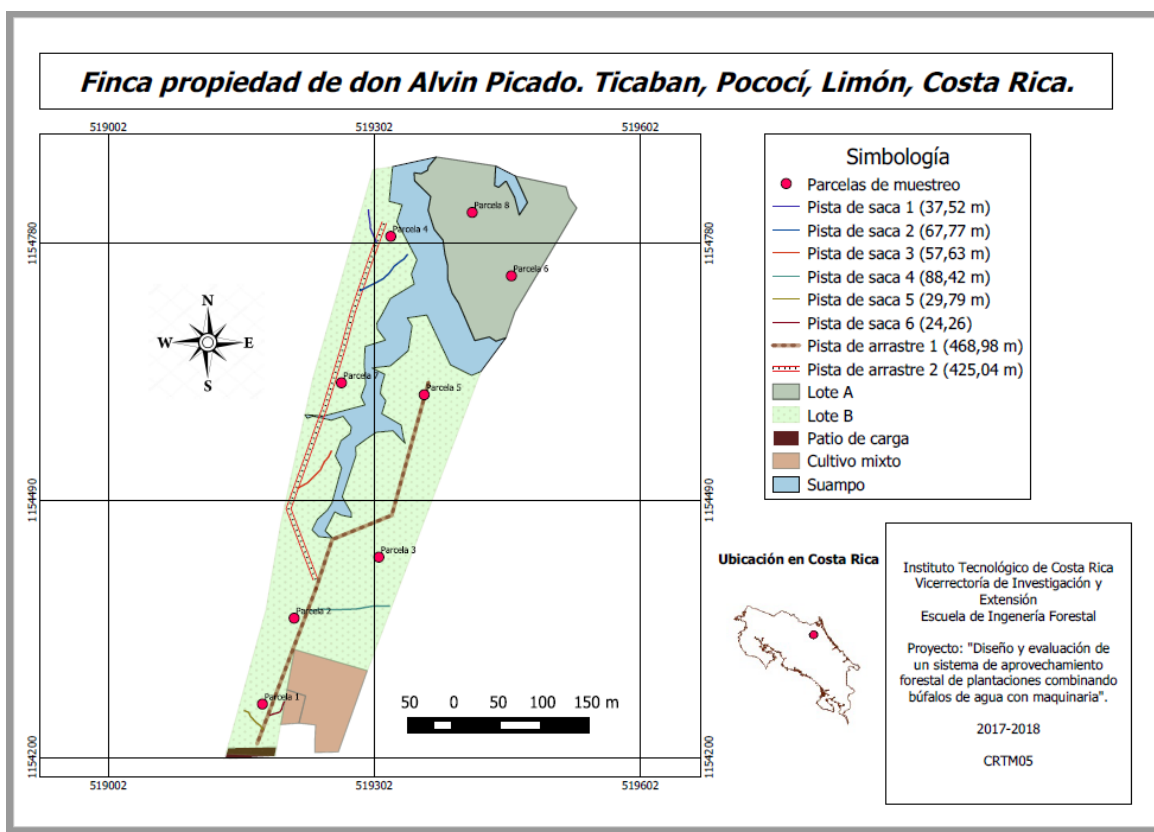


Figura 3. Mapa de patios y pistas de arrastra del Sitio 3. Ticabán, Guápiles, Limón. 2018.

Las pistas de saca que utilizó el búfalo son pequeños trillos que van de cada árbol a la orilla de la pista de arrastre del tractor. El impacto en estas pistas es mínimo pues el animal pasa una sola vez; sin embargo, hay trechos en que convergen varias pistas y entonces el búfalo pasa varias veces. Para efectos de ilustración y referencia, se realizó el levantamiento de las pistas de saca que utilizó el búfalo, pero solamente los trayectos que fueron utilizados más de 10 veces.

Donde se concentra el impacto del aprovechamiento es en el área de patios de carga y pistas de arrastre del tractor agrícola, ya que es la zona por donde circula la máquina y la totalidad del volumen extraído, razón por la que se busca disminuir su cantidad.

Para el Sitio 1 se utiliza como referencia un lote de 2,17 hectáreas en el cual se utilizaron 287 metros de pistas de saca para el búfalo y 157 metros de pistas de arrastre para el tractor agrícola. Se utilizó un patio de 900 m² para trocear y cargar la madera no solo de este lote, sino que por este patio pasó toda la madera extraída de la finca, sin embargo, esta área fue utilizada para el cálculo del área impactada.

Para el Sitio 2 se utilizaron 715 metros de pistas de arrastre para el tractor agrícola. El patio de carga fue construido fuera de la plantación en un área de potrero, no hubo patios de acopio intermedios, ya que la madera se acumuló en pequeños grupos a lo largo de las pistas de arrastre del tractor, por lo que no hay impacto. Se utilizaron 431 metros de pista de saca para el búfalo.

Para el Sitio 3 se utilizaron 894 metros de pistas de arrastre para el tractor agrícola y se construyó un patio de carga de 300 metros cuadrados, tampoco hubo patios intermedios ya que se utilizó la misma técnica de arrastre que en el Sitio 1, el búfalo utilizó 305 metros de pistas de saca.

El Cuadro 2 muestra el área impactada en cada sitio por efecto de pistas de arrastre y patios de carga, considerando un ancho de pista de 2.5 metros.

Cuadro 2. Área impactada en cada sitio evaluado por pistas de arrastre y patios de acopio.

SITIO	Área plantación (ha)	Área de pistas de arrastre (m ²)	Área de patios (m ²)	Área Total impactada (m ²)	Porcentaje (%)
1	2,17	392,5	900	1292,5	5,96
2	3,38	1787,5	0	1787,5	5,29
3	6,93	2235	300	2535	3,66

4.1.3 Caracterización del sistema de aprovechamiento:

Este proyecto pretende diseñar y evaluar la etapa de arrastre en un aprovechamiento de plantaciones forestales, sin embargo, para hacer una correcta evaluación de la operación la misma debe analizarse inmersa en el sistema completo.

Para esta evaluación se diseñó un sistema de aprovechamiento basado en una operación de arrastre en dos fases, combinando un búfalo de agua y un tractor agrícola.

Primero se diseñaron y trazaron en el campo las pistas de arrastre a utilizar por el tractor agrícola, se eliminaron los obstáculos presentes en la superficie como piedras, troncos, ramas, etc.; cada pista de arrastre fue marcada en el campo utilizando balizas para facilitar la ubicación de las mismas por el sierrero (Figura 4). Se ubicó el sitio para establecer el patio de carga y se acondicionó el mismo cortando los árboles necesarios y eliminando los obstáculos, para facilitar el movimiento del tractor y la carga de los camiones.

Una vez trazada la red vial y ubicado el patio de carga, se procede a iniciar la operación de corta dirigida ejecutada por una cuadrilla de dos personas, el sierrero y su asistente, el objetivo principal de esta operación es dejar los fustes en una buena posición para el arrastre. Entre las principales funciones del asistente está la de colaborar con el sierrero para dirigir la caída de los árboles cuando no se puedan voltear en la dirección deseada utilizando solamente los cortes, para ello utiliza equipo como cuerdas y palancas (Figura 5).

Una vez volteados los árboles se inicia la primera fase del arrastre con el búfalo, llevando los fustes desde el sitio de corta hasta las orillas de las pistas donde se agrupan (Figura 6), luego, el tractor agrícola los traslada desde ese sitio hasta el patio de carga. Para realizar el arrastre, el búfalo debe de ir hasta cada uno de los fustes volteados, sujetarlo con la cadena y arrastrarlo hasta la orilla de la pista de arrastre del tractor agrícola, ahí se forman grupos de fustes buscando un volumen adecuado para la capacidad de carga del tractor agrícola. Con el búfalo se procura dejar el extremo de la carga por donde será sujeta, un poco levantada del suelo con la finalidad de facilitar el amarre del tractor agrícola (Figura 7).



Figura 4. Marcaje de pista de arrastre utilizando balizas.



Figura 5. Uso de cuerda para la corta dirigida.



Figura 6. Búfalo realizando la primera etapa del arrastre haciendo grupos de fustes a la orilla de la pista del tractor agrícola.



Figura 7. Fustes colocados con el extremo levantado a la orilla de la pista de arrastre del tractor agrícola.

Es fundamental para el buen desempeño del sistema, la utilización de un doble juego de cadenas de amarre en el tractor, de manera que cuando un juego de cadenas realiza un viaje al patio de carga, el otro juego se queda en el campo para amarrar la carga siguiente (Figura 8).



Figura 8. Juego de cadenas utilizado para amarrar una carga mientras el otro juego realiza un viaje al patio de carga.

Una vez que los fustes llegan al patio se inicia la fase de troceo y apilado, este proceso lo realiza la misma cuadrilla de corta, utilizando una vara de marcaje y una motosierra (Figura 9). Las piezas que se van obteniendo van siendo apiladas en forma ordenada y clasificadas por diámetro y por longitud, quedando preparadas para la operación de carga (Figura 10).



Figura 9. Ejecución del troceo utilizando motosierra y una vara para medir las trozas.



Figura 10. Trozas apiladas y clasificadas listas para la operación de carga.

La operación de carga no fue evaluada en este proyecto, ya que siempre es asumida por el comprador de la madera lo que dificultó la toma de datos, sin embargo, mediante observación se determinó que la misma fue realizada en forma manual con el apoyo, en algunas ocasiones, de un tractor agrícola provisto de brazos hidráulicos (Sitios 1 y 2) y en algunos casos solo en forma manual (Sitio 3). El transporte se realizó en camiones tipo tándem con capacidad para 13 a 15 m³ de madera en rollo.

4.2 EVALUACIÓN DE LA OPERACIÓN DE ARRASTRE

4.2.1 Eficiencia y producción

En los tres sitios el arrastre de la madera se realizó con la técnica de dos fases, utilizando el búfalo de agua para arrastrar los fustes desde el sitio de corta hasta la orilla de la pista de arrastre del tractor formando grupos; luego la segunda fase se realizó con un tractor agrícola arrastrando desde la orilla de la pista hasta el patio de carga.

Los cuadros 3, 4 y 5 muestran un resumen de los resultados obtenidos del estudio del trabajo en cada sitio evaluado, tanto para el arrastre con el búfalo como el arrastre con el tractor agrícola.

Cuadro 3. Valores promedio del estudio del trabajo en la operación de arrastre de madera con búfalos de agua y tractor agrícola en el Sitio 1. El Cairo, Siquirres, Limón. 2017.

Movimientos del sistema	Arrastre con búfalos		Arrastre con tractor agrícola	
	Observaciones (promedio)	Porcentajes (%)	Observaciones (promedio)	Porcentajes (%)
Movimientos Productivos				
Viaje vacío	11,78	15,75	35,33	22,87
Amarre	12,33	16,16	26,00	15,50
Viaje cargado	14,89	19,82	37,00	24,29
Soltar	7,89	10,49	14,00	9,18
Acomodo del chapulín	0,00	0,00	3,33	2,04
Total movimientos productivos	46,89	62,22	115,67	73,87
Movimientos improductivos				
Descanso de los búfalos	0,56	0,96	0,00	0,00
Descanso del Bufalero	3,33	3,43	0,00	0,00
Re-amarre de la carga	1,22	2,24	4,33	2,29
Acomodar patio	8,67	9,35	7,00	7,20
Desrame o troceo	3,22	3,35	0,33	0,19
Esperar	0,22	0,26	0,00	0,00
Limpiar pista	0,33	0,30	2,33	1,23
Colocar aditamentos al búfalo	7,33	11,50	0,00	0,00
Alimentación	0,00	0,00	16,67	8,79
Carga pegada	1,89	2,43	2,33	1,65
Bajar árboles	3,67	3,96	0,00	0,00
Mecánicos	0,00	0,00	0,00	0,00
Abastecimiento	0,00	0,00	3,33	2,49
Descanso	0,00	0,00	0,00	0,00
Traslado del chapulín	0,00	0,00	3,00	2,28
Otros	0,00	0,00	0,00	0,00
Total atrasos	30,44	37,78	39,33	26,13
TOTAL	77,33	100,00	155,00	100,00

Cuadro 4. Valores promedio del estudio del trabajo en la operación de arrastre de madera con búfalos de agua y tractor agrícola en el Sitio 2. Valle de la Estrella, Limón, 2017.

Movimientos del sistema	Arrastre con búfalos		Arrastre con tractor agrícola	
	Observaciones (promedio)	Porcentajes (%)	Observaciones (promedio)	Porcentajes (%)
Movimientos Productivos				
Viaje vacío	23,22	20,65	49,20	20,96
Amarre	18,39	16,41	37,10	16,42
Viaje cargado	23,28	20,85	52,80	22,91
Soltar	15,00	13,32	17,80	8,25
Acomodo del chapulín	0,00	0,00	4,40	2,12
Total de movimientos productivos	79,89	71,23	161,30	70,65
Movimientos improductivos				
Descanso de los búfalos	2,72	2,42	0,00	0,00
Descanso del Bufalero	6,33	5,70	0,00	0,00
Re-amarre de la carga	3,89	3,41	15,50	6,99
Acomodar patio	5,83	5,34	3,20	1,19
Desrame o troceo	0,00	0,00	0,00	0,00
Esperar	1,83	1,65	12,40	5,40
Limpiar pista	1,67	1,43	11,90	5,80
Colocar aditamentos al búfalo	6,94	6,27	0,00	0,00
Alimentación	0,00	0,00	12,20	4,65
Carga pegada	2,89	2,56	6,30	2,69
Bajar árboles	0,00	0,00	0,00	0,00
Mecánicos	0,00	0,00	3,20	1,01
Abastecimiento	0,00	0,00	2,00	0,92
Otros	0,00	0,00	0,30	0,13
Descanso	0,00	0,00	0,60	0,56
Total de movimientos improductivos	32,11	28,77	67,60	29,35
TOTAL	112,00	100,00	228,90	100,00

Cuadro 5. Valores promedio del estudio del trabajo de la operación de arrastre de madera con búfalos de agua y tractor agrícola en el Sitio 3, Ticabán, Pococí, Limón. 2018.

Movimientos del sistema	Arrastre con búfalos		Arrastre con tractor agrícola	
	Observaciones (promedio)	Porcentajes (%)	Observaciones (promedio)	Porcentajes (%)
Movimientos Productivos				
Viaje vacío	25,08	23,18	41,67	25,42
Amarre	23,00	20,91	26,17	18,60
Viaje cargado	20,58	18,89	40,50	25,15
Soltar	15,75	14,46	19,33	13,22
Acomodo del chapulín	0,00	0,00	8,67	5,70
Total de movimientos productivos	84,42	77,44	136,33	88,10
Movimientos improductivos				
Descanso de los búfalos	1,83	1,58	0,00	0,00
Descanso del Bufalero	2,08	1,80	0,00	0,00
Re-amarre de la carga	4,00	3,69	7,67	4,50
Acomodar patio	1,67	1,48	2,33	1,26
Desrame o troceo	0,00	0,00	0,00	0,00
Esperar	3,92	3,99	2,33	1,00
Limpiar pista	2,75	2,27	0,33	0,13
Colocar aditamentos al búfalo	6,62	6,45	0,00	0,00
Alimentación	0,00	0,00	11,00	4,24
Carga pegada	1,08	1,01	1,17	0,58
Bajar árbol	0,33	0,28	0,00	0,00
Mecánicos	0,00	0,00	0,17	0,06
Abastecimiento	0,00	0,00	0,33	0,13
Descanso	0,00	0,00	0,00	0,00
Total de movimientos improductivos	24,28	22,56	25,33	11,90
TOTAL	108,70	100,00	161,67	100,00

Los cuadros 6, 7, 8, 9, 10 y 11 muestran los resultados obtenidos de eficiencia y producción en cada sitio evaluado.

Cuadro 6. Resultados obtenidos de eficiencia y producción por jornada del arrastre con búfalo de agua en el Sitio 1. El Cairo, Limón. 2017.

Jornada	Fustes arrastrados	Distancia de arrastre (m)	Duración total de la jornada (h)	Eficiencia (%)	Volumen por jornada (m³)	Producción (m³/h)
1	14	36,64	3,80	42,11	5,81	1,53
2	16	16,93	2,10	60,32	4,18	1,99
3	13	26,08	1,97	69,49	5,19	2,64
4	7	26,29	0,87	65,38	3,61	4,17
5	21	22,90	2,83	65,88	7,15	2,52
6	11	41,36	1,30	71,79	3,41	2,62
7	30	41,47	3,83	72,17	9,85	2,57
8	25	24,24	2,90	51,72	8,22	2,84
9	26	28,50	3,60	61,11	10,41	2,89
Promedio	18,11	29,38	2,58	62,22	6,43	2,64
Desviación estándar	7,75	8,57	1,09	9,92	2,63	0,72
Coeficiente de variación (%)	42,81	29,16	42,15	15,94	40,89	27,11

Cuadro 7. Resultados obtenidos de eficiencia y producción por jornada del arrastre con tractor agrícola en el Sitio 1. El Cairo, Limón. 2017.

Jornada	Fustes arrastrados	Distancia de arrastre (m)	Duración total de la jornada (h)	Eficiencia (%)	Volumen por jornada (m³)	Producción (m³/h)
1	60	392,78	6,00	68,89	24,61	4,10
2	92	209,14	6,87	80,58	31,81	4,63
3	17	232,63	2,63	72,15	5,96	2,26
Promedio	56,33	278,18	5,17	73,87	20,79	3,67
Desviación estándar	37,63	99,94	2,24	6,03	13,34	1,24
Coficiente de variación (%)	66,81	35,92	43,28	8,17	64,15	33,91

Cuadro 8. Resultados obtenidos de eficiencia y producción por jornada del arrastre con búfalo de agua en el Sitio 2. Valle de la Estrella, Limón. 2017.

Jornada	Fustes arrastrados	Distancia de arrastre (m)	Duración total de la jornada (h)	Eficiencia (%)	Volumen por jornada (m³)	Producción (m³/h)
1	39	34,03	4,47	74,63	9,28	2,08
2	24	28,74	2,90	77,01	6,48	2,23
3	35	23,68	4,07	71,31	8,99	2,21
4	22	34,95	3,23	56,70	5,73	1,77
5	35	15,09	4,37	71,76	10,58	2,42
6	19	19,58	3,47	63,46	4,60	1,33
7	22	48,00	3,93	69,49	5,94	1,51
8	29	51,00	3,83	80,87	6,36	1,66
9	20	51,00	3,30	70,71	4,75	1,44
10	36	51,19	4,00	78,33	9,28	2,32
11	20	55,00	2,70	76,54	6,70	2,48
12	25	53,36	3,90	74,36	6,10	1,56
13	26	65,65	3,93	72,03	5,61	1,43
14	27	18,41	3,37	66,34	4,43	1,32
15	36	32,22	4,43	75,19	3,97	0,89
16	30	37,63	3,63	75,23	6,68	1,84
17	25	56,94	3,77	71,68	4,04	1,07
18	25	55,42	3,90	56,41	5,14	1,32
Promedio	27,50	40,66	3,73	71,23	6,37	1,72
Desviación estándar	6,31	15,40	0,50	6,76	1,96	0,48
Coeficiente de variación (%)	22,94	37,88	13,27	9,49	30,75	27,92

Cuadro 9. Resultados obtenidos de eficiencia y producción por jornada del arrastre con tractor agrícola en el Sitio 2. Valle de la Estrella, Limón. 2017.

Jornada	Fustes arrastrados	Distancia de arrastre	Duración total de la jornada (h)	Eficiencia (%)	Volumen por jornada (m ³)	Productividad (m ³ /h)
1	54	466,67	8,00	65,00	13,78	1,72
2	89	593,05	11,53	69,65	21,63	1,88
3	22	203,40	3,57	63,55	7,11	1,99
4	84	233,46	7,77	78,97	20,01	2,58
5	35	259,33	4,20	60,32	7,77	1,85
6	28	683,33	3,33	86,00	6,46	1,94
7	81	680,00	7,73	77,59	18,36	2,37
8	96	653,53	10,50	75,87	22,77	2,17
9	67	650,00	10,23	68,08	14,42	1,41
10	83	306,88	9,43	61,48	16,83	1,78
Promedio	63,90	472,96	7,63	70,65	14,91	1,97
Desviación estándar	27,30	202,42	2,99	8,57	6,09	0,33
Coeficiente de variación (%)	42,73	42,80	39,17	12,13	40,81	16,98

Cuadro 10. Resultados obtenidos de eficiencia y producción del arrastre por jornada con búfalo de agua en el Sitio 3. Ticabán, Guápiles, Limón. 2018.

Jornada	Fustes arrastrados	Distancia de arrastre (m)	Duración total de la jornada (h)	Eficiencia (%)	Volumen por jornada (m ³)	Producción (m ³ /h)
1	51	15,48	2,87	75,58	7,40	1,95
2	77	26,33	4,77	80,42	11,04	1,86
3	39	14,33	2,83	80,00	7,96	2,25
4	58	29,23	4,03	78,51	8,04	1,56
5	67	33,71	4,73	73,94	9,06	1,42
6	64	25,86	3,90	80,34	8,95	1,84
7	63	29,02	4,53	75,74	9,33	1,57
8	54	23,88	3,20	73,96	8,71	2,01
9	70	26,24	4,27	81,25	10,45	1,99
10	35	29,93	2,60	70,51	5,64	1,53
11	29	33,58	2,30	78,26	4,13	1,41
12	44	60,10	3,47	80,77	5,85	1,36
Promedio	54,25	28,97	3,63	77,44	8,05	1,73
Desviación estándar	14,99	11,52	0,86	3,44	2,02	0,29
Coeficiente de variación (%)	27,62	39,76	23,85	4,44	25,15	16,78

Cuadro 11. Resultados obtenidos de eficiencia y producción por jornada del arrastre con tractor agrícola en el Sitio 3. Ticabán, Guápiles, Limón. 2018.

Jornada	Fustes arrastrados	Distancia de arrastre (m)	Duración total de la jornada (h)	Eficiencia (%)	Volumen por jornada (m ³)	Producción (m ³ /h)
1	57	191,00	2,00	96,67	8,34	4,17
2	85	245,12	2,83	97,65	14,01	4,94
3	75	295,79	2,67	90,00	10,56	3,96
4	185	327,13	8,77	75,67	28,35	3,23
5	182	437,21	8,50	83,14	24,09	2,83
6	110	693,28	7,57	85,46	17,63	2,33
Promedio	115,67	364,92	5,39	88,10	17,16	3,58
Desviación estándar	55,27	181,03	3,20	8,42	7,81	0,96
Coeficiente de variación (%)	47,79	49,61	59,41	9,56	45,48	26,77

4.2.2 Análisis estadístico de la eficiencia y producción.

Se realizó una comparación estadística de la eficiencia y la producción obtenidas en los 3 sitios evaluados para determinar diferencias. Los resultados pueden observarse en el cuadro 12 y el Anexo 2.

Al comparar la eficiencia y la producción del búfalo de agua se encontraron diferencias significativas entre los sitios 2 y 3 con el sitio 1, esto en ambos casos.

Al evaluar la eficiencia del tractor agrícola se encuentran diferencias entre los sitios 1 y 2 con el 3 y en producción la diferencia se presenta entre el sitio 2 con los sitios 1 y 3.

Cuadro 12. Eficiencia y producción obtenidas en la evaluación de los tres sitios.

SITIO	EFICIENCIA BÚFALO (%)	m ³ /h BUFALO	EFICIENCIA TRACTOR (%)	m ³ /h TRACTOR
1	62,22 ^A	2,64 ^A	73,87 ^A	3,67 ^A
2	71,23 ^B	1,72 ^B	70,65 ^A	1,97 ^B
3	77,44 ^B	1,73 ^B	88,10 ^B	3,58 ^A
<i>p-value (ANDEVA)</i>	0,0001	0,0001	0,0029	0,0007

*Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes ($p > 0,05$)

4.2.3 Costos de producción

Para el cálculo de los costos de operación se utilizó el mismo costo horario para las operaciones de corta, arrastre con búfalo y arrastre con tractor agrícola determinados en el Sitio 3. La base de cálculo de cada uno se muestra en el Anexo 1.

La recolección de información en el Sitio 1 se vio afectada por problemas de logística y apoyo a la investigación de parte de la empresa maderera que ejecutaba la operación, esto no permitió recopilar la información de todas las etapas del sistema.

Cuadro 13. Costos de producción del aprovechamiento forestal del Sitio 1. El Cairo, Siquirres, Limón. 2017.

RUBRO	€/h	Producción (m ³ /h)	€/m ³	€/PMT
Corta	5032,25	3,94	1277,22	3,53
Arrastre búfalo	4070,64	2,64	1541,91	4,26
Arrastre tractor	10789,66	3,67	2939,96	8,12

La evaluación en el Sitio 2 presentó muchas dificultades climáticas que, junto con la lejanía del lugar, complicaron la logística del proyecto y por tanto la toma de datos de campo. Se recopiló información para calcular el costo de las 3 primeras etapas, como se muestra en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Costos de producción del aprovechamiento forestal del Sitio 2. Valle de la Estrella, Limón. 2017.

RUBRO	€/h	Producción (m ³ /h)	€/m ³	€/PMT
Corta	5032,25	3,67	1371,19	3,79
Arrastre búfalo	4070,64	1,72	2366,65	6,54
Arrastre tractor	10789,66	1,97	5476,98	15,13

Para el Sitio 3 se contó con todo el apoyo del propietario de la plantación, por lo que se realizó una recolección detallada de información y se determinó el costo del sistema de aprovechamiento, los resultados se muestran en el Cuadro 15 y los cálculos en el Anexo 1.

Cuadro 15. Costos de producción del aprovechamiento forestal del Sitio 3. Ticabán, Guápiles, Limón. 2018.

RUBRO	€/h	Producción (m ³ /h)	€/m ³	€/PMT
Planificación y certificado	20014.16	12.03	1663.69	4.60
Corta	5032,25	3.41	1475,73	4,08
Arrastre búfalo	4070,64	1,73	2352,97	6,50
Arrastre tractor	10 789, 66	3.58	3013.87	8.33
Troceo y apilado	4816,22	1.49	3232,36	8,93
TOTAL			11738,62	32,44

4.3 PROMOCIÓN DEL BÚFALO DE AGUA PARA SU USO EN SISTEMA DE ARRASTRE COMBINADOS.

Como parte de las actividades planeadas en el proyecto se realizó un Día de Campo el día 30 de noviembre del año 2017.

Además, en conjunto con el proyecto de extensión “Fortalecimiento del uso de técnicas apropiadas en el aprovechamiento forestal de plantaciones en la región Huetar Caribe” que se ejecutaba simultáneamente, se realizaron 4 actividades más: una gira de estudiantes (2/6/2017), un Taller demostrativo (30/5/2018), una visita guiada (26/10/2018) y una capacitación (16/05/2018).

Las evidencias de estas actividades se encuentran en el Anexo 3.

V. Discusión y conclusiones

5.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO.

5.1.1 Red vial:

El conocimiento del área de la plantación y las características del terreno son fundamentales para el diseño del sistema de aprovechamiento a utilizar. El trazo en el campo de las pistas de arrastre utilizando balizas resulta beneficioso para la etapa de corta, ya que permite al sierrero definir bien la caída de los árboles, de modo que su posición en el suelo sea adecuada para el arrastre con el búfalo; por lo tanto, esto trae consigo una importante disminución de tiempos muertos y por tanto el aumento de la eficiencia y la producción de la primera etapa del arrastre.

Las pistas de arrastre fueron definidas para que transite el tractor agrícola vacío y cargado, es la única ruta por la que esta máquina puede moverse en este sistema en aras de disminuir los impactos. Las pistas de saca son los trayectos utilizados por el búfalo para extraer cada uno de los fustes, no se trazan previamente a la corta, más bien con base en la ubicación de los fustes en el suelo se definen los trechos más adecuados para pasar con el búfalo; en algunas ocasiones las pistas de saca convergen en un trayecto hacia la pista de arrastre, en estos casos resulta conveniente eliminar cualquier obstáculo que pueda hacer que el búfalo se retrase o tenga que esforzarse más en ese trecho por el que circula más veces.

Con el objetivo de dar acceso a todo el rodal, la cantidad de metros lineales de pistas de arrastre y de saca requeridos dependerá de la forma de la plantación, de la topografía del terreno y de la red vial existente en el sitio.

En el Sitio 1 evaluado, el terreno es plano y un camino de lastre cruza toda la plantación (Figura 1), disminuyendo la densidad de pistas de arrastre requeridas a solo 72 m/ha (157 m); por otra parte, por la forma del lote y la ubicación de los fustes a extraer la densidad de pistas de saca fue de 132 m/ha producto de la utilización de 287 metros lineales. El patio de acopio en este sitio fue construido en un área no plantada, sin embargo, por el tamaño del mismo (900 m²) fue considerado como área impactada.

El Sitio 2 presenta una topografía ondulada, con lomas cortas y fuertes pendientes que impidieron la construcción de un patio de carga cerca de la plantación, por lo que la longitud de la pista de arrastre del tractor agrícola fue de 715 metros, distancia no apropiada para esta labor ya que disminuyen los ciclos productivos por hora y al llevar poco volumen por viaje disminuye la producción. Sin embargo, siendo la única alternativa se tuvo que realizar el arrastre con el tractor agrícola en esa distancia; en total se alcanzó un valor de 212 m/ha (Figura 2).

El Sitio 3 tiene una topografía plana, de forma rectangular pero con un área húmeda en el centro (Figura 3), esto obligo a bifurcar la pista de arrastre duplicando la distancia, en total se utilizaron 894 metros para una densidad de 129 m/ha. Lo anterior hizo que las distancias de arrastre del búfalo fueran cortas, disminuyendo la cantidad de pistas de saca, requiriendo solamente 44 m/ha (305 m). El patio de carga tuvo que ser construido dentro de la plantación, en el límite con el camino público, se afectó un área de 300 m².

No existe información de referencia de densidad de pistas de arrastre y saca, ni de porcentajes de impacto en aprovechamiento de plantaciones forestales, lo más cercano en nuestro país es el 20 % de impacto que sugiere el Manual de Procedimientos para el aprovechamiento en bosque natural.

Según Cándano *et al* (2004), en una investigación realizada en Cuba en un aprovechamiento de bosques de pino con árboles de similar tamaño a los utilizados en este trabajo y utilizando una yunta de bueyes para el arrastre, se consideró como daño severo al suelo las secciones del terreno con la cubierta vegetal removida y afectación de la parte mineral del suelo, en este caso se obtuvo un 6,25% de afectación del área total.

Del Cuadro 2 se obtiene que en esta investigación, producto de la construcción de las pistas y patios, para el Sitio 1 se impactó un 5,96% del área de la plantación, para el sitio 2 se impactó un 5,29 % y para el Sitio 3 se impactó un 3,66 %; valores inferiores al valor mencionado anteriormente.

La disminución en el porcentaje de área impactada en el Sitio 3 obedece a la mayor intensidad en el trabajo de planificación de la red vial y la supervisión de la operación.

5.1.2 Operación de corta:

La operación de corta, junto con una buena planificación de la red vial, son etapas fundamentales para que el costo del sistema sea lo más bajo posible; su posición en el sistema de producción hace que el resultado de su ejecución pueda hacer que el costo del arrastre sea mínimo. El arrastre es una de las etapas de mayor costo e impacto del sistema, por esta razón se deben hacer los esfuerzos en las etapas anteriores por favorecer su ejecución.

La operación en los 3 sitios se ejecutó con una motosierra marca Sthill modelo 310. Se procuró que la operación de corta se realizara con una cuadrilla de dos personas, con la finalidad de asegurar la caída de los árboles en la posición más beneficiosa para el arrastre; sin embargo, en el Sitio 1 no fue posible tener injerencia sobre esta labor, no siempre se tuvo constancia y la calidad técnica de la operación no fue la mejor. Para los Sitios 2 y 3, los investigadores lograron tener relación directa con esta operación y realizarla de la forma propuesta. Los datos utilizados para el cálculo del costo horario de la labor fueron los obtenidos en el Sitio 3 donde se obtuvo una eficiencia de 71,64 % y una producción entre 3 y 4 m³/h.

Para esta operación es fundamental la aptitud del operador de la motosierra y la actitud del asistente para colaborar con el objetivo de esta etapa del sistema; la capacitación en servicio fue muy utilizada en este proyecto.

5.1.3 Arrastre en dos fases:

El arrastre se realizó de acuerdo con la técnica descrita anteriormente, el principal problema se presentó en la operación de amarre, ya que en los Sitios 1 y 2 no se cumplió con la utilización de doble juego de cadenas y esto es un factor fundamental para que el desempeño del sistema sea óptimo.

5.1.4 Troceo y apilado:

Para el troceo y apilado solamente se pudo recolectar información para determinar sus costos, no hay un estudio del trabajo. La toma de datos en esta etapa se complicó por la urgencia de la empresa maderera de sacar el producto al mercado, por lo que se realizaban varias labores a la vez y sin previo aviso. En todos los sitios el troceo se realizó tal y como fue descrito anteriormente.

5.2 EFICIENCIA Y PRODUCCIÓN DEL SISTEMA DE ARRASTRE PROPUESTO

5.2.1 Sitio 1:

Los árboles del rodal en el Sitio 1 se caracterizan por su mala forma, producto del azote del viento, esto hace que la operación de corta dirigida tenga mayor dificultad, quedando árboles enganchados y difíciles de derramar. Lo anterior afecta la eficiencia de la primera fase del arrastre que se realiza con el búfalo, en este caso se obtuvo un 62,22 %; este valor es bajo debido a los constantes atrasos presentados en la operación para ejecutar labores como el desrame, bajar árboles enganchados o bien acomodar el patio de acopio (Cuadro 3). Es evidente en este sitio que la operación de corta no cumplió su objetivo, ya que los árboles no estaban listos para su arrastre. Además, los problemas logísticos que tuvo la empresa causaron inconvenientes en el proceso de extracción de la madera, ya que un atraso en la carga de los camiones generó que se llenaran los patios, causando que tanto el búfalo como el tractor tuvieran que emplear tiempo en acomodar el material acumulado y así mantener la operación de arrastre funcionando.

El búfalo de agua alcanzó una producción de 2,64 m³/h arrastrando en distancias entre 15 y 45 metros, valor similar al reportado por Cándano *et al* (2004) de 2,65 m³/h en arrastre con una yunta de bueyes en distancias de hasta 100 metros y muy superior al reportado por Meza-Montoya y Villalobos-Barquero (2017) de 1,5 m³/h. A pesar de la baja eficiencia, la buena producción obtenida obedece principalmente a las dimensiones de los fustes, ya que en este sitio se arrastraron los árboles más gruesos (22,83 cm), desarrollo que alcanzaron por las aperturas del dosel producto de eventos climáticos.

El tractor agrícola realizando la segunda fase del arrastre alcanzó una eficiencia del 73,87%, gracias a que las condiciones del terreno facilitaban su tránsito, el amarre fue complicado ya que no se utilizó doble juego de cadenas, llegando a alcanzar este movimiento hasta un 16,77 % del tiempo de la jornada de trabajo (Cuadro 3), igualmente se presentaron interrupciones en los ciclos de producción por problemas de reamarre de la carga. La producción alcanzada por el tractor agrícola fue de 3,67 m³/h en distancias de 200 a 400 metros, esta producción se vio favorecida por las buenas condiciones de la pista de arrastre y el mayor volumen por fuste arrastrado.

En el arrastre de fustes de plantaciones forestales, sea cual sea el método que se utilice, difícilmente se logrará alcanzar la capacidad de carga de dicho método, esto puesto que la cantidad de fustes que se pueden arrastrar sin generar atrasos en las operaciones de amarre y soltar son pocos; de esta manera los mayores problemas se presentan cuando los fustes a arrastrar presentan bajo volumen por unidad, ya que el volumen por ciclo de arrastre será bajo y por tanto su producción también.

5.2.2 Sitio 2:

Al evaluar el Sitio 2 las condiciones de supervisión de las operaciones de planificación, corta dirigida y primera fase del arrastre con el búfalo, mejoraron significativamente, lo que permitió un mejor diseño y trazo de las pistas de arrastre para el tractor agrícola y una mejor ubicación de los sitios de acopio de los fustes por el búfalo. Esto se ve reflejado en un aumento en la eficiencia del arrastre con el búfalo (71,23 %) con respecto al Sitio 1 (Cuadro 8), esto a pesar de que las pendientes en el Sitio 2 son superiores y la topografía en general era más incómoda para el trabajo de arrastre.

La eficiencia de la primera fase del arrastre es buena; sin embargo, no fue más alta porque al tener el búfalo que circular en zonas de alta pendiente, se presentaron situaciones en que la carga se pegaba en una raíz o tronco o bien problemas de reamarre de la carga. De la misma forma, el búfalo tuvo que dedicar parte de su tiempo de arrastre a acomodar los patios, ya que los mismos quedaron un poco estrechos de espacio y su ubicación era algo incómoda, lo anterior aunado a la fatiga del búfalo fueron los elementos principales que impidieron una eficiencia más alta (Cuadro 4).

La dificultad por moverse en zonas de alta pendiente obligó a disminuir la carga del búfalo, limitándose a uno o a lo sumo dos fustes, esto aunado al poco volumen por fuste, originó una disminución de la producción con respecto al Sitio 1; sin embargo, la producción alcanzada es suficiente para que en dos días de trabajo el búfalo haya alcanzado el volumen necesario para cargar un camión tipo tándem, lo que se considera muy adecuado para este método de arrastre. En el Sitio 2 queda demostrado que la cantidad de carga del búfalo se ve disminuida cuando tiene que circular por zonas de alta pendiente subiendo y bajando lomas cortas, situación que se presenta no por la capacidad de carga y la tracción del animal sino por las dificultades que enfrenta al moverse en este tipo de terreno arrastrando varios fustes.

5.2.3 Sitio 3:

En la evaluación del Sitio 3 se pudieron establecer las relaciones necesarias entre las etapas de planificación de la red vial, la corta, el arrastre con el búfalo y el arrastre con el tractor agrícola, para obtener un buen resultado del sistema de aprovechamiento integral. De esta forma, la operación de corta fue realizada por una cuadrilla de dos personas, dando mucho énfasis a la ubicación de los fustes en el suelo mediante el uso de cortes o bien con la ayuda de equipo adicional como cuerdas y palancas, lo que permitió mayor facilidad de circulación al búfalo al realizar la primera fase del arrastre (Figura 5).

La primera fase del arrastre alcanzó la mejor eficiencia de los 3 sitios evaluados (77,44 %), producto de la buena planificación y trazado de las pistas de arrastre, la buena operación de corta realizada y la dirección técnica de la operación de arrastre con el búfalo; este valor es mucho más alto que el reportado por Meza-Montoya *et al* (2017) en el proyecto “*Valoración y promoción de la Utilización de búfalos de agua en labores de aprovechamiento de plantaciones forestales*”, donde se reportó un 57,96% de eficiencia en la operación de arrastre con búfalo de agua en raleos de plantaciones de melina.

Uno de los principales atrasos que se presentó y que impidió un valor más alto de eficiencia se debe a la misma necesidad de favorecer el arrastre siguiente con el tractor agrícola, ya que se invirtió tiempo en el acomodo de los fustes a la orilla de la pista de arrastre (Cuadro 5), procurando realizar grupos de 8 fustes y a la vez buscando la forma de que el grupo de fustes quedara en alto en el extremo por el que serían sujetados en la segunda fase del arrastre (Figuras 6 y 7). Esta agrupación y preparación de fustes para facilitar la etapa siguiente se realiza con el búfalo, ya que su costo por hora es mucho menor que el costo por hora del tractor.

Otro atraso de importancia que se presentó en esta operación fue el reamarre de los fustes, que es la labor que se realiza cuando el búfalo arrastra un fuste y en su camino hacia la pista de arrastre del tractor, recoge otro fuste para llevar una carga mayor (Cuadro 5). Lo anterior fue necesario realizarlo debido al bajo volumen por árbol en esta plantación, ya que es un rodal de corta edad (3 años) y la operación silvicultural obedece al primer raleo. Esto no sucedería en una plantación de corta final o un raleo a una edad más avanzada ya que los fustes tendrían un volumen adecuado para llevar uno en cada ciclo, garantizando una buena producción de la operación, como lo sucedido en el Sitio 1.

A pesar de la buena eficiencia obtenida en el arrastre con el búfalo, su producción no fue la mejor de los sitios evaluados (1,73 m³/h), esto debido al poco volumen por fuste por tratarse de un primer raleo a los 3 años de edad. Hay que mencionar que la capacidad de carga del búfalo estuvo lejos de ser alcanzada, se trabajó arrastrando uno o dos fustes para evitar problemas en las operaciones de amarre y soltar la carga y evitar daños a la base de los árboles remanentes.

Los atrasos presentados en la primera fase del arrastre realizada con el búfalo, se ven reflejados en la buena eficiencia alcanzada por el tractor agrícola en la segunda fase del arrastre (88,10 %) (Cuadro 11). En esta fase se dieron todas las condiciones para que los tiempos muertos del tractor

agrícola fueran mínimos, se limpiaron las pistas eliminando obstáculos, bajando tocones y rellenando drenajes con troncos, esto permitió que el tractor trabajara a altas velocidades dentro de la plantación, tanto en viaje vacío como en viaje cargado.

Los atrasos presentados en el arrastre con el tractor fueron propios de las condiciones establecidas para realizar esta etapa del aprovechamiento; primero se presenta un atraso en el acomodo del patio de troceo y carga, ya que al tener que construirlo dentro de la plantación se utilizó un patio pequeño (10 x 30 m) para no disminuir mucho el área productiva del rodal. También se presentó un atraso denominado "reamarre de la carga", ya que por el afán de no impactar mucho el suelo en las pistas de arrastre, se les exigió al tractorista y su asistente, realizar los reamarres necesarios para que la carga circulara elevada del suelo, esto provocó entonces que al salir del sitio de amarre, al circular algunos metros, el tractor se tenía que detener al pasar por algún montículo para reamarrar la carga de manera que su extremo delantero quedara suspendido y no rozara el suelo (Cuadro 5). Esto evitó que se generaran surcos en el suelo por el paso de la carga y se deteriorara la pista de arrastre, de hecho ninguna pista tuvo que ser reconstruida o reparada durante el aprovechamiento.

La adecuada habilitación de las pistas de arrastre junto con el uso de un doble juego de cadenas para el amarre y la capacitación del tractorista y su asistente, permitieron que se lograra una alta producción en la operación (3,58 m³/h) (Cuadro 11), suficiente para cargar dos camiones tipo tándem por día. La capacidad de carga del tractor nunca fue alcanzada, ya que se procuró arrastrar solamente 8 fustes por viaje, evitando así problemas en la labor de soltar la carga.

5.2.4 Comparación de eficiencia y producción:

a) Eficiencia del búfalo:

Al comparar la eficiencia en la primera etapa del arrastre realizada con el búfalo de agua entre los 3 sitios evaluados, se determinó que hay diferencias significativas entre los sitios 3 y 2 (77,44 y 71,23 % de eficiencia respectivamente) con el sitio 1 (62,22 % de eficiencia) (Anexo 2). Esta diferencia se debe fundamentalmente a que en el sitio 1 se presentaron muchas situaciones anómalas, producto de la mala o nula planificación realizada por la empresa maderera y en lo que los investigadores no pudieron tener injerencia; entre los problemas principales se destacan dos:

- La operación de corta fue inestable y de muy mala calidad en su ejecución, lo que originó árboles enganchados que no cayeron al suelo, tocones muy altos, fustes mal derramados y muchos obstáculos en el terreno producto de las ramas de los árboles volteados.
- Hubo problemas con la fluidez de la carga de camiones y el transporte de madera a los aserraderos, lo que provocó que en un momento determinado los patios de carga se encontraban llenos.

Lo mencionado anteriormente provocó que el búfalo tuviera que dedicar tiempo a bajar los árboles enganchados e invertir tiempo en acomodar la madera en los patios para continuar arrastrando; además la operación de arrastre se tuvo que detener constantemente para realizar el desrame en los fustes, eliminar obstáculos en el terreno o bien soltar la carga que se quedaba pegada en los tocones tan altos que existían en el campo. Todo esto generó atrasos que consumieron alrededor de un 20 % del tiempo de trabajo (Cuadro 3).

Con esto queda demostrado que el arrastre no es una operación independiente, funciona inmersa en un sistema de producción y su eficiencia dependerá de la planificación de pistas y patios de carga y principalmente de la calidad de la operación previa de corta de los árboles.

b) Producción del búfalo:

Al comparar la producción del búfalo en la primera etapa del arrastre entre los 3 sitios evaluados, se encontró una diferencia significativa entre el Sitio 1 (2,64 m³/h) con los sitios 2 y 3 (1,72 y 1,73 m³/h respectivamente). Esta diferencia se fundamenta en el tamaño de la carga transportada por el búfalo, ya que en el Sitio 1 se arrastraron los fustes con mayor volumen de los 3 sitios (Cuadro 1); en el Sitio 2 la topografía era de lomas cortas con pendientes altas, lo que dificultó el arrastre de más de dos fustes por viaje del animal, lo que aunado al poco volumen por fuste se generó una producción más baja. Por su parte, el Sitio 3 era un primer raleo con una edad de 3 años, por lo que el volumen por fuste era muy bajo y la cantidad de fustes arrastrados por el búfalo se limitó a un máximo de 3 para evitar las dificultades que se podrían presentar durante el amarre y a la hora de soltar la carga.

La similitud en la duración del viaje cargado con el viaje vacío (Cuadros 3, 4 y 5) demuestra que en ninguno de los 3 sitios evaluados se alcanzó la capacidad de carga del búfalo, las bajas producciones obtenidas se deben a la dificultad de arrastrar más de 3 fustes en un mismo viaje y al bajo volumen por fuste.

c) Eficiencia del tractor agrícola:

La comparación de la eficiencia del tractor agrícola en la segunda fase del arrastre señala una diferencia significativa entre los sitios 2 y 1 (70,65 y 73,87 % de eficiencia) con el Sitio 3 (88,10 % de eficiencia) (Anexo 2). A pesar de que las 3 eficiencias alcanzadas son consideradas como buenas en el marco de un aprovechamiento forestal, la diferencia encontrada se fundamenta en tres aspectos:

- La buena planificación y preparación de las pistas de arrastre a utilizar por el tractor en el Sitio 3, le permitieron desarrollar altas velocidades en los viajes vacío y cargado.
- La buena ejecución de la operación de arrastre en su primera fase con el búfalo en el Sitio 3, permitió tener dispuestos para el tractor grupos de fustes con el extremo de amarre levantado del suelo.
- La utilización de un doble juego de cadenas de amarre en el Sitio 3 permitió que los tiempos en esta labor fueran mínimos, optimizando la cantidad de viajes por hora realizados por el tractor agrícola.

d) Producción del tractor agrícola:

Al comparar la producción del tractor agrícola realizando la segunda fase del arrastre entre los 3 sitios evaluados, se determinó una diferencia significativa entre el Sitio 2 (2,04 m³/h) y los sitios 3 y 1 (3,58 y 3,67 m³/h respectivamente) (Anexo 2). La diferencia surge ya que el Sitio 2 presentó los árboles más delgados (16,03 cm de diámetro) (Cuadro 1) y además, no fue posible arrastrar más de dos fustes por viaje, ya que la pendiente y la forma de la topografía dificultaba mucho el movimiento del búfalo con una carga mayor. La alta producción obtenida en el Sitio 1 obedece a un mayor tamaño de los árboles (22,83 cm de diámetro), que permitía, aunque fueran viajes de un solo fuste, trasladar un mayor volumen por ciclo. Por su parte, en el Sitio 3, aunque los árboles no eran muy grandes (18,29 cm de diámetro), las buenas prácticas ejecutadas permitieron alcanzar una producción alta, entre estas destaca la utilización de un doble juego de cadenas para el amarre y la buena preparación de las pistas de arrastre, lo que permitió arrastrar en cada viaje al menos 8 fustes y mantener una alta eficiencia en la operación alcanzando un número alto de viajes por hora.

5.3 COSTOS DE PRODUCCIÓN

El costo de producción (C/m^3) es la relación entre el costo por hora (C/h) y la producción (m^3/h). El costo por hora de las operaciones tiende a ser constante, puesto que las variables de cálculo están basadas en los precios de mercado de los insumos, materiales y mano de obra (Anexo 1), por esta razón, para el cálculo del costo de producción de los 3 sitios evaluados se utilizó el valor de costo por hora de las operaciones determinado en el Sitio 3, que fue el aprovechamiento en el que los investigadores tuvieron mayor control de la operación.

De acuerdo con lo anterior, que el costo de producción de una operación sea alto o bajo dependerá directamente de la producción obtenida.

Esta evaluación está enfocada en la etapa de arrastre del sistema de aprovechamiento forestal de plantaciones, sin embargo, en un sistema productivo como éste, donde cada árbol provee poco volumen, es fundamental que las etapas del sistema estén debidamente coordinadas entre sí; de esta manera, durante la investigación se trató de evaluar o al menos tener acceso a las etapas del sistema que podrían afectar de alguna manera la etapa de arrastre.

5.3.1 Planificación:

Esta etapa incluye todo lo relacionado con el planeamiento de las vías de arrastre, los patios de carga y el marcaje de los árboles a cortar cuando corresponda. En los sitios 1 y 2 no fue posible determinar el costo de producción (C/m^3) de esta etapa, debido a que no se pudo obtener la información del volumen total aprovechado; sin embargo, se conoce que se requirió de un día de trabajo de un profesional y un colaborador para el diseño y marcaje de las pistas de arrastre; no fue necesario el marcaje de los árboles a cortar ya que la operación a realizar era una corta total de la plantación en ambos sitios. El costo por hora programada determinado fue de $\text{C}10\,458,62$ producto del trabajo de un día de un(a) profesional y un colaborador.

Para el Sitio 3 la operación silvicultural a ejecutar era un primer raleo a un 50% de intensidad sobre los árboles plantados originalmente, por lo que fue necesario invertir tiempo en el marcaje de los árboles a cortar, así como en la planeación y marcaje del patio de carga y las pistas de arrastre para el tractor agrícola. Para esta labor se requirió de dos días de trabajo de dos profesionales y un colaborador y se obtuvo un costo de $\text{C}1663,69/\text{m}^3$, es decir $\text{C}4,6$ por pulgada maderera tica (Cuadro 15).

Los resultados obtenidos en eficiencia, producción y costos de producción en el Sitio 3 reflejan la importancia de un buen proceso de planificación previa y una supervisión estricta durante la ejecución del aprovechamiento.

5.3.2 Operación de corta:

La operación de corta en los sitios 1 y 2 fue ejecutada con una cuadrilla de trabajo conformada por una sola persona, a pesar de que las normas de la Organización Internacional del Trabajo (1998) señalan que la cuadrilla mínima debe ser de 2 personas, afirmación que es respaldada por la FAO (1980), el Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social de Argentina (2017) y Meza y Solano (2004). El costo obtenido en ambos sitios es muy similar ($\text{C}3,53/\text{PMT}$ y $\text{C}3,79/\text{PMT}$ respectivamente) (Cuadros 13 y 14). Para el Sitio 3 el costo aumentó a $\text{C}4,08/\text{PMT}$, producto de una cuadrilla conformada por 2 personas, sierrero y colaborador y la inclusión de las cargas sociales. Como se aprecia, a pesar de que se duplica el tamaño de la cuadrilla, aumenta la seguridad laboral y mejora la calidad de la operación, no se incrementa en gran medida el costo de producción.

Para que las labores de aprovechamiento forestal tengan buen resultado, tanto desde el punto de vista del impacto como de los costos de operación, las etapas de menor costo por hora como la

operación de corta, deben ser intensas en tratar de mejorar las condiciones de las etapas con mayor costo por hora, como la labor de arrastre.

Como valor de referencia para comparar el costo de la operación de corta se utiliza la información suministrada por la empresa maderera que realiza el aprovechamiento de los asociados de ASIREA; esta empresa reporta para la operación de corta un costo de ¢ 6/PMT (Ing. Forestal Roberto Salas, comunicación personal, 2017), valor superior a los resultados obtenidos en los 3 sitios evaluados.

5.3.3 Primera fase del arrastre con búfalo:

Para los sitios evaluados 2 y 3 el costo de producción de esta etapa del arrastre es prácticamente el mismo, se obtuvo ¢ 6,54/PMT y ¢ 6,50/PMT respectivamente (Cuadros 14 y 15), esto debido a que las producciones son muy similares y el costo por hora de la labor es el mismo.

Para el Sitio 1 se obtuvo un costo de producción mucho menor (¢ 4,26/PMT) (Cuadro 13), sin embargo, hay que considerar que la producción en este sitio se vio favorecida por el mayor tamaño de los fustes, en tanto que en el Sitio 3 los fustes eran muy pequeños, producto de un primer raleo de 3 años de edad y en el Sitio 2 el búfalo tuvo que enfrentar los problemas que originan las altas pendientes y las lomas cortas.

5.3.4 Segunda fase del arrastre con tractor agrícola:

Los costos de producción más bajos para esta fase del arrastre se obtuvieron en los sitios 1 y 3, con valores de ¢8,12 y ¢ 8,33/PMT respectivamente (Cuadros 13 y 15). El valor obtenido en el Sitio 1 se vio favorecido por el mayor volumen por fuste y por las buenas condiciones que esta plantación presenta para el arrastre, con sitios muy planos y caminos ya establecidos y consolidados (Figura 1). Por su parte, para el Sitio 3 se implementó una buena planificación y preparación de las pistas de arrastre, así como el uso de un doble juego de cadenas de amarre y una buena supervisión de la operación, lo que favoreció un costo de producción bajo.

Por su parte, las condiciones para el tractor agrícola en el Sitio 2 fueron muy adversas, con una distancia de arrastre superior a los 700 metros, con el paso por dos quebradas y un trecho de aproximadamente 20 metros con pendiente superior al 30 % y una superficie muy resbalosa; todo lo anterior provocó que el costo de producción fuera muy alto con respecto a los otros sitios evaluados (¢15,13/PMT) (Cuadro 14).

Sin embargo, pese a que el arrastre con el tractor agrícola en el Sitio 2 tuvo el mayor costo de producción, la retroalimentación de los operadores de la maquinaria que trabajaron en esta etapa, señala que el costo hubiese sido mucho mayor si no es por el trabajo de agrupamiento de los fustes que realizó el búfalo en la primera etapa.

5.3.5 Operación de arrastre (búfalo + tractor agrícola):

Al sumar el costo de producción de la primera y segunda fase del arrastre, se obtiene un costo de ¢12,38/PMT, ¢21,67/PMT y ¢14,83/PMT para los sitios 1, 2 y 3 respectivamente.

Al comparar estos costos con el suministrado por la empresa maderera que realiza el aprovechamiento de los asociados de ASIREA que es de ¢20/PMT, se aprecia que solamente en el Sitio 2 se superó el mismo, debido a las condiciones tan adversas que se enfrentaron al realizar la operación de aprovechamiento. Además, debe considerarse que los costos suministrados por la empresa no incluyen las cargas sociales, en tanto que el análisis realizado en este proyecto incluye un 48,67 % en este rubro.

De esta manera, se concluye que la utilización de una técnica de arrastre en dos fases, combinando el búfalo de agua con el tractor agrícola brinda un menor costo de producción, siempre y cuando se realice un proceso de planificación y preparación previa de las pistas adecuado.

5.3.6 Operación de troceo:

Para los sitios 1 y 2 no fue posible determinar el costo de producción de esta operación, debido a que, por la premura de la empresa por cargar varios camiones, se realizaban varias operaciones a la vez y en forma desordenada, lo que impidió la recolección de los datos requeridos. Sin embargo, en ambos sitios la operación fue realizada por una cuadrilla de dos personas, el sierrero y su asistente; el sierrero se encarga de cortar y el asistente es quien porta la regla con las medidas de las trozas requeridas por la empresa. Luego de realizar los cortes, las trozas no eran acomodadas de ninguna forma, quedaban simplemente amontonadas en grupos; al cargar los camiones, las trozas se iban tomando del grupo, se iban clasificando de acuerdo a lo que se requería cargar en el camión y se colocaban en la plataforma. Esta forma de trabajar elimina el tiempo de clasificación y apilado, sin embargo, aumenta el tiempo de carga del camión.

En el Sitio 3, el troceo se realizó con la asesoría adecuada, fue ejecutado por dos personas, sierrero y ayudante con iguales funciones que en los sitios 1 y 2; sin embargo, en este caso la cuadrilla, además de trocear también clasifica y apila las trozas, facilitando así la etapa de carga de los camiones (Figura 10). El costo obtenido en el troceo (C\$ 8,93/PMT) es casi igual al costo obtenido en el arrastre con el tractor, por lo que se considera alto; sin embargo, es de suponer que la clasificación y el apilado faciliten la operación de carga y por tanto esta tenga un costo menor; esto no pudo confirmarse en este proyecto con datos, solamente con observación, dado que la operación no fue evaluada cuantitativamente.

5.4 DIVULGACIÓN

El Día de Campo se enmarcó en el concepto de “Buenas prácticas para el establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales”, ya que el público meta eran los asociados de ASIREA y en este grupo había productores interesados en reforestar y otros que ya reforestaron y en ese momento les interesaba conocer sobre manejo y aprovechamiento. El Programa de la actividad y la lista de asistentes se encuentran en el Anexo 3.

Lo que le interesaba a este proyecto era divulgar los buenos resultados en términos silviculturales producto de un manejo programado a 10 años y también los buenos resultados en cuanto a eficiencia, producción, costos e impacto de las operaciones de aprovechamiento forestal cuando las mismas son debidamente planeadas y supervisadas. Se promovió la utilización de un sistema de arrastre en dos fases utilizando el búfalo y el tractor agrícola como lo más adecuado para el aprovechamiento de plantaciones de pequeños productores, no solo por los buenos resultados en eficiencia, producción y reducción del impacto, sino que también permite que el productor realice algunas etapas de la operación lo que aumenta sus ingresos.

En cooperación con el proyecto de extensión “Fortalecimiento del uso de técnicas apropiadas en el aprovechamiento forestal de plantaciones en la región Huetar Caribe” se decidió aprovechar que la operación que estaba en marcha para realizar otras actividades de divulgación:

En el mes de junio del año 2017 se realizó una gira de campo con los estudiantes del curso de Aprovechamiento Forestal I del plan de estudios de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Forestal. Se explicaron detalles técnicos de la evaluación realizada y sobre la ejecución de las etapas del

aprovechamiento, conocieron de cerca los búfalos de agua y se explicaron sus bondades y beneficios.

En el mes de mayo del año 2018 se realizó una capacitación a la empresa maderera que realiza los aprovechamientos de la mayoría de socios de ASIREA. Se consideró importante compartir los resultados obtenidos en el campo con el personal operativo de esta empresa, fue interesante la interacción, ya que se mostraron muy interesados, afirmando que efectivamente esa era la forma de realizar las operaciones e incluso brindando retroalimentación a los investigadores.

En el mismo mes de mayo, se aprovechó la posibilidad de coordinar la visita de un grupo de criadores de búfalos de agua para compartir con ellos el trabajo realizado por el búfalo en un sistema de arrastre. Los comentarios fueron muy positivos y se recibió retroalimentación principalmente sobre los aperos del animal.

Finalmente, en el mes de octubre del año 2018, la propietaria de la plantación evaluada en el Sitio 2 ubicada en el Valle de la Estrella manifestó su interés en conocer un aprovechamiento bien realizado y los investigadores procedieron a conformar un pequeño grupo de cinco productores que fueron trasladados hasta el Sitio 3 en Ticabán para recibir una demostración en el campo de la forma en que se realizó el aprovechamiento en este sitio, haciendo hincapié en los costos y el nivel de impacto que muestra la plantación. Además, se trató de hacer ver que es una plantación joven y que su manejo está proyectado a 10 años, por lo que no es cierto que todas las plantaciones se tienen que cortar a los 5 años y venderlas al mercado de tarimas.

Como parte de las actividades del proyecto se elaboró un Manual de selección y entrenamiento de búfalos para labores de arrastre de madera, el cual se adjunta en el Anexo 4. El documento está dirigido a los productores y pretende acercarlos al manejo de búfalos, no solo para trabajo, sino también con propósitos de carne, leche o turismo. El manual será presentado al Comité Editorial de la EIFO para su revisión y publicación con la Editorial Tecnológica.

VI. Recomendaciones

Este proyecto evaluó 3 sitios de trabajo en los cuáles se fue escalando en lo que se refiere a control y supervisión de la operación de aprovechamiento, por esta razón en los primeros 2 sitios no fue posible recolectar toda la información del sistema de aprovechamiento completo por el poco apoyo y colaboración de la empresa maderera, por lo que se recomienda desarrollar otros ensayos que permitan solventar esta situación.

Es recomendable desarrollar más actividades de promoción del búfalo de agua como animal de trabajo en el arrastre de madera de plantaciones forestales, ya que no son conocidas las bondades de este animal en este tipo de labor. De la misma forma deben darse a conocer sus beneficios como productor de carne, leche y su uso en proyectos turísticos.

Dado que las condiciones en que se realizó este proyecto son propias de la región Caribe de Costa Rica, se recomienda realizar la misma evaluación en otras zonas del país y en plantaciones de otras especies, no solo para evaluar los resultados técnicos de la aplicación del sistema de arrastre, sino también para promover el uso del sistema combinado en otras regiones y la utilización del búfalo de agua.

Es recomendable desarrollar otras iniciativas de investigación que permitan comparar el búfalo de agua con otros animales como los bueyes en labores de arrastre de madera de plantaciones forestales, ya que sigue existiendo la duda de cuál método brinda mayores beneficios a los pequeños productores y cuál es el que presenta mejores condiciones de eficiencia, producción y costo.

VII. Agradecimientos (opcional)

Agradecemos profundamente a:

La Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el financiamiento otorgado y la confianza brindada para la ejecución de este proyecto.

A la Coordinación y el equipo administrativo del Centro de Investigación en Innovación Forestal de la Escuela de Ingeniería Forestal del ITCR por el apoyo administrativo y operativo brindado durante la ejecución de este proyecto.

A la Dirección Ejecutiva y el personal profesional de ASIREA por la información suministrada y el apoyo en la ejecución de este proyecto.

Al señor Roger Campos, la señora Elvia Jiménez y el señor Albín Picado por permitirnos tomar los datos de campo en sus plantaciones y por el apoyo logístico brindado durante la ejecución de la investigación.

A los estudiantes Andrey Navarro, Geovanny Alfaro y Stephanie Robles por su apoyo y colaboración en la toma de datos de campo.

Al señor Guillermo Mora Valladares por compartir sus conocimientos en el arrastre con búfalos de agua, por su apoyo, su amistad y por aportar el animal que realizó el trabajo en los 3 sitios evaluados.

VIII. Referencias

- Almaguer, Y. (2007). El búfalo, una opción de la ganadería. *REDVET*, vol 8 (8). Recuperado de <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080807/080709.pdf>
- Angulo, R. A., Restrepo, L. F., y Berdugo, J. A. (2005). Características de calidad de las canales bufalinas y vacunas comercializadas en Medellín, Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, 17(9). Recuperado de <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd17/9/angu17103.htm>
- Cándano, F. (2004). Evaluación de tres métodos de arrastre de madera en rodales naturales de *Pinus caribaea* var. *caribaea*. *Revista Árbore, Vicosá-MG*, v.28, n.3, p. 373-380, 2004. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/html/488/48828308/>
- Cordero Quesada, W. (1988). Utilización del sulky en extracción de madera con bueyes. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago (Costa Rica). Centro de Información Tecnológica. Unidad de Tecnología Apropriada.
- FAO. (1980). Chainsaws in tropical forest: FAO training series. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-au019e.pdf>
- Galindo, W. (1993). Criterios de selección y pautas para el adiestramiento de animales de trabajo. *Livestock Research for Rural Development. Cali, Colombia*, 5(2). Recuperado de <http://www.fao.org/ag/Aqa/agap/frg/FEEDback/lrrd/lrrd5/2/amanse.htm>
- Herrera, M. (1994). Evaluación de dos aditamentos para la extracción forestal con búfalos de agua. Informe de Práctica de Especialidad. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 59 p.
- Meza-Montoya, A. (2004). El aprovechamiento de plantaciones forestales: un sistema de producción. *Revista Forestal Kurú*, 1(3), vol 54-56. Recuperado de <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/565>
- Meza-Montoya, A, Villalobos-Barquero, V. (2017). “Valoración y promoción de la Utilización de búfalos de agua en labores de aprovechamiento de plantaciones forestales”. Informe Final. Centro en Investigación e Innovación Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Meza, A y Guzmán, J. 1999. Evaluación de alternativas tecnológicas para el arrastre de trozas de diámetros de trozas de diámetros menores. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 44 p.
- Meza-Montoya, A., y Solano, R. (2004). Efecto de la capacitación técnica en los costos de las operaciones de aprovechamiento forestal de plantaciones. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. 1(3), 36-46. Recuperado de <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/562>
- Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social de Argentina. (2017). Manual de buenas prácticas: actividad forestal. Recuperado de <https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2017/12/MBPForestal2017.pdf>

- Montiel, N. (2002). El Búfalo en los sistemas de producción bovinos: utilización del búfalo como animal de trabajo en los estados andinos Venezolanos. XI Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal. Universidad de los Andes, Venezuela. Recuperado de http://www.avpa.ula.ve/congresos/cd_xi_congreso/pdf/nestorontiel.PDF
- Nigrinis, G. (2015). Los diferentes tipos de Búfalos. Colombia. Recuperado de <http://bmeditores.mx/los-diferentes-tipos-de-bufalos/>
- Organización Internacional del Trabajo. (1998). Seguridad y salud en el trabajo forestal. Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra. Recuperado de https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/normativeinstrument/wcms_112615.pdf
- Pearson, R. (2003). La fuerza de tracción animal: Una revisión de la tecnología disponible en el mundo. Arriaga, C.; Castelán, O.; Velázquez, L. (Comp: Investigación en animales de trabajo para el desarrollo rural), 15-30. Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias, 111. Recuperado de <https://books.google.co.cr/books>
- Salas, R. (2017). Entrevista personal con Roberto Salas.
- Simón, L., y Galloso, M. (2011). Presencia y perspectivas de los búfalos en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 34(1), 3-20. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942011000100001
- Wadsworth, J. (1997). Análisis de sistemas de producción animal Tomo 1: Las bases conceptuales. FAO: *ANIMAL PRODUCTION AND HEALTH PAPER*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/004/w7451s/w7451s03.htm>

IX. Anexos

Anexo 1. Cálculo de costo horario para las diferentes etapas del aprovechamiento forestal en el Sitio 3. Ticabán, Pococí, Limón. 2018

OPERACIÓN DE CORTA – Motosierra Sthill 310

Datos de referencia para el cálculo:

Valor inicial	₡ 334 271.00
Valor inicial sable	₡ 61 803.00
Valor inicial cadena	₡ 17 010.00
Valor de rescate	₡ 0
Vida útil motosierra	3 años
Vida útil sable	300 horas efectivas
Vida útil cadena	150 horas efectivas
Tasa de interés 36 meses	6,2 %
Precio aceite 2T	₡ 5084.51/lt
Precio aceite cadena	₡ 1529.10/lt
Precio gasolina	₡ 653/lt
Proporción de gasolina en la mezcla	1:20
Factor de reparación y mantenimiento	1
Número de tanques utilizados/jornada	.5
Capacidad tanque combustible	0.561 lt
Capacidad tanque aceite cadena	0.331 lt
Días de trabajo por año:	200
Horas de trabajo programadas por día:	9
Eficiencia	71.64 %
Costo mano de obra	₡ 2600 (sierrero y ayudante)
Cargas sociales	48.67 %
Producción	3,41 m ³ /hr

Cálculo del costo horario:

Costos fijos

Depreciación:

$$D = \frac{\$334\,271 - \$0}{3 \text{ años}} = \$111\,423, \frac{67}{\text{año}} / (200 \text{ días} * 9 \text{ horas}) = \$61,90/h. \text{ prog.}$$

Costo capital:

$$CC = \left(\frac{(\$334\,271 - \$0) * (3 \text{ años} + 1)}{2 * 3 \text{ años}} + \$0 \right) * 0,062 = \$13\,816,53/\text{año}$$

$$\$13\,816,53/\text{año} / (200 \text{ días} * 9 \text{ horas}) = \$7,68/h. \text{ prog.}$$

Total costos fijos: ₡61,90/h. prog + ₡7,68/h. prog = ₡69,58/h. prog.

Costos variables

Depreciaciones:

$$D. \text{ sable} = \frac{\text{€}61\,803}{300 \text{ h. efectiva}} = \text{€}206,01 / \text{h. efectiva}$$

$$D. \text{ cadena} = \frac{\text{€}17\,010}{150 \text{ h. efectivas}} = \text{€}113,4 / \text{h. efectiva}$$

Combustible:

$$\frac{\text{€}5084,51 + (\text{€}653 * 20)}{20 + 1} * 0,65 = \text{€}561,61 / \text{h. efectiva}$$

Aceite de la cadena:

$$\text{€}1529,10 * 0,385 = \text{€}588,70 / \text{h. efectiva}$$

Reparación y Mantenimiento:

$$\text{€}61,90 * 1 = \text{€}61,90 / \text{h. efectiva}$$

Total costos variables: €206,01 + €113,40 + €561,61 + €588,70 + €61,90 =
€1531,62 / h. efectiva * 71,64% eficiencia =
€1097,25 / h. prog.

Mano de obra

$$\text{€}1\,400 / \text{h. prog.} + \text{€}1\,200 / \text{h. prog.} + 48,67\% \text{ cargas sociales} = \text{€}3\,865,42 / \text{h. prog.}$$

Costo total de la operación (CT): C. F. + C. V. + M. O

$$C. T. = \text{€}69,58 + \text{€}1\,097,25 + \text{€}3\,865,42 = \text{€}5\,032,25 / \text{h. prog.}$$

$$\text{€}5\,032,25 / \text{h. prog.} / 3,41 \text{ m}^3 / \text{h. prog.} = \text{€}1\,475,73 / \text{m}^3$$

$$\text{€}1\,475,73 / \text{m}^3 / 362 \text{ PMT} / \text{m}^3 = \text{€}4,08 / \text{PMT}$$

Cuadro 16. Resumen del cálculo del costo horario para la etapa de corta del aprovechamiento forestal en el Sitio 3. Ticabán, Pococí, Limón. 2018

Costos fijos	¢/h. prog.
Depreciación Motosierra	61, 90
Costo capital	7, 68
Total C.F.	69, 58
Costos variables	¢/h. efectiva
Depreciación sable	206, 01
Depreciación cadena	113, 40
Combustible	561, 61
Aceite cadena	588, 70
Mantenimiento y reparación	61, 90
Total C.V. (¢/h. efectiva)	1531, 62
Total C.V. (¢/h. prog.)	1097,25
Mano de Obra	¢/h. prog.
Sierrero	1 400, 00
Ayudante	1 200, 00
C.C.S.S. (48,67%)	1 265, 42
Total M.O.	3 865, 42
Rubro	¢/h. prog.
Costos fijos	69, 58
Costos variables	1 097,25
Costos mano de obra	3 865, 42
Total (¢/h. prog.)	5 032,25
Producción (m³/h. prog.)	3, 41
Costo total de producción (¢/m³)	1 475,73
Costo total de producción (¢/PMT)	4, 08

ARRASTRE CON BÚFALO DE AGUA

Datos de referencia para el cálculo:

Valor inicial de compra:	Ø 3 000 000, 00
Valor de rescate (900 kg peso final):	Ø 1 063, 00/kg
Vida útil de trabajo:	10 años
Alimentación:	
- Forraje:	80 kg/día (Ø 45/kg)
- Concentrado:	2 Kg/día (Ø 280/kg)
- Minerales:	0,6 kg/día (Ø 641,20/kg)
Salud animal:	
- Vitaminas:	10 mm/mes (Ø 40/mm)
- Desparasitante:	18 mm/mes (Ø 42/mm)
Días de trabajo por año:	200
Horas de trabajo por día:	8
Tasa de interés:	6,2 %
Valor de cadenas de arrastre:	Ø 30000
Vida útil cadenas:	5 años
Valor aditamentos (cuerdas, sillín, collar):	Ø 60000
Depreciación aditamentos:	3 años
Mano de obra:	Ø 1400/h (un bufalero)
Cargas sociales:	48,67 %
Eficiencia:	74,44 %

Cálculo del costo horario:

Costos fijos

Depreciación búfalo:

$$D = \frac{\text{Ø}3\,000\,000 - \left(\frac{\text{Ø}1\,063}{\text{kg}} * 900\text{kg}\right)}{10 \text{ años}} = \frac{\text{Ø}204\,330}{\text{año}} / (1600 \text{ horas}) = 127,71 / \text{h. prog.}$$

Costo capital:

$$CC = \left(\frac{(\text{Ø}3\,000\,000 - \text{Ø}956\,700) * (10 \text{ años} + 1)}{2 * 10 \text{ años}} + \text{Ø}956\,700 \right) * 0,062 = \text{Ø}128\,991,93 / \text{año}$$

$$\text{Ø}128\,991,93 / \text{año} / (200 \text{ días} * 8 \text{ horas}) = \text{Ø}80,62 \text{ h prog.}$$

Alimentación:

- Forraje: $\left(\frac{\text{Ø}80}{\text{día}} * \frac{\text{Ø}40}{\text{kg}} * 365\right) / 1600 = \text{Ø}730 / \text{h}$

- Concentrado: $\left(\frac{2 \text{ kg}}{\text{día}} * \frac{\text{Ø}280}{\text{kg}} * 365\right) / 1600 = \text{Ø}127,75 / \text{h}$

- Minerales: $(0,6 \text{ kg/día} * \text{Ø}641,50 / \text{kg} * 365) / 1600 = \text{Ø}87,81 / \text{h}$

Total alimentación: ¢945,56/h

Salud animal:

- Vitaminas: $((10 \frac{mm}{mes} * ¢40/mm) * 12)/1600 = ¢3/h$

- Desparasitante: $((18 \frac{mm}{mes} * ¢42/mm) * 12)/1600 = ¢5,67/h$

Total salud animal: ¢8,67/h

Total costos fijos: ¢127,7/h. prog. + ¢80,62/h. prog. + ¢945.56/h. prog. + ¢8,67/h. prog. = ¢1162,55/h. prog

Costos variables

Depreciación de cadenas:

$$D. cadenas = \frac{¢30\,000}{5 \text{ años}} = ¢6\,000/\text{año} / (1600) = ¢3,75/h. efectiva$$

Depreciación aditamentos:

$$D. aditamento = \frac{¢60\,000}{3 \text{ años}} = ¢20\,000/\text{año} (1600) = ¢12,5/h. efectiva$$

Total costos variables: (¢3,75/h. efectiva + ¢12,5/h. efectiva) * 77,44 % = ¢12,58/h. prog.

Mano de obra

$$¢1\,400/h. prog. + 48.67 \% \text{ cargas sociales} = ¢2\,081,38/h. prog.$$

Costo total de la operación (CT): C. F. + C. V. + M. O.

$$¢1\,162,55 + ¢12,58 + ¢2\,081,38 = ¢3\,256,51/h. prog.$$

$$¢3\,256,51/h. prog. + 25\% \text{ de utilidad} = ¢4\,070,64/h. prog.$$

$$¢4\,070,64/h. prog. / 1,73 \text{ m}^3/h. prog. = ¢2\,352,97/\text{m}^3$$

$$¢2\,352,97/\text{m}^3 / 362 \text{ PMT}/\text{m}^3 = ¢6,50/\text{PMT}$$

Cuadro 17. Resumen del cálculo del costo horario para la etapa de arrastre con búfalos de agua del aprovechamiento forestal en el Sitio 3. Ticabán, Pococí, Limón. 2018

Costos fijos	¢/h. prog.
Depreciación búfalo	127,70
Alimentación	945,56
Salud animal	8,67
Costo capital	80,62
Total C.F.	1 162,55
Costos variables	¢/h. efectiva
Depreciación cadenas	3,75
Depreciación equipamiento	12,50
Total C.V. (¢/h. efectiva)	16,25
Total C.V. (¢/h. prog.)	12,58
Mano de Obra	¢/h. prog.
Bufalero	1 400
C.C.S.S. (48,67%)	681,38
Total M.O.	2 081,38
Rubro	¢/h. prog.
Costos fijos	1 162,55
Costos variables	12,58
Costos mano de obra	2 081,38
Total (¢/h. prog.)	3 256,51
Con Utilidad (25%)	4 070,64
Producción (m³/h. prog.)	1,73
Costo total de producción (¢/m³)	2 352,97
Costo total de producción (¢/PMT)	6,50

ARRASTRE CON TRACTOR AGRÍCOLA

Datos de referencia para el cálculo:

Alquiler de tractor	₡ 9 000, 00 (incluye operario)
Valor cadenas de arrastre	₡ 51 000, 00
Vida útil cadenas:	5 años
Días de trabajo por año	200
Horas de trabajo por día:	8
Mano de obra:	₡ 1200/h (asistente para amarre)
Cargas sociales:	48,67 %

Cálculo del costo horario:

Costos fijos

Alquiler del tractor = ₡9 000/h. prog.

Costos variables

Depreciación de cadenas

$$D. \text{cadenas} = \frac{₡51\,000}{5 \text{ años}} = ₡10\,200 / \text{año} / (200 \text{ días} * 8 \text{ horas}) = ₡6,37/h. \text{ efectiva}$$

Total costos variables: ₡6,37/h. efectiva * 88,10% = ₡5,62/h. prog.

Mano de obra = ₡1 200/h. prog. + 48.67 % cargas sociales = ₡1 784, 04/h. prog.

Costo total de la operación (CT): C. F. + C. V. + M. O.

$$₡9\,000, 00 + ₡5, 62 + ₡1\,784, 04 = ₡10\,789, 66/h. \text{ prog.}$$

$$₡10\,789, 66/h. \text{ prog.} / 3, 58 \text{ m}^3/h. \text{ prog.} = ₡3\,013, 87/\text{m}^3$$

$$₡3\,013, 87/\text{m}^3 / 362 \text{ PMT}/\text{m}^3 = ₡8, 33/\text{PMT}$$

Cuadro 18. Resumen del cálculo del costo horario para la etapa de arrastre con tractor agrícola del aprovechamiento forestal en el Sitio 3. Ticabán, Pococí, Limón. 2018

Costos fijos	¢/h. prog.
Alquiler	9 000, 00
Total C.F.	9 000, 00
Costos variables	¢/h. efectiva
Depreciación cadenas	6, 37
Total C.V. (¢/h. efectiva)	6, 37
Total C.V. (¢/h. prog.)	5, 62
Mano de Obra	¢/h. prog.
Amarrador	1 200, 00
C.C.S.S. (48,67%)	584, 04
Total M.O.	1 784, 04
Rubro	¢/h. prog.
Costos fijos	9 000, 00
Costos variables	5, 62
Costos mano de obra	1 784, 04
Total (¢/h. prog.)	10 789, 66
Producción (m³/h. prog.)	3, 58
Costo total de producción (¢/m³)	3 013, 87
Costo total de producción (¢/PMT)	8, 33

TROCEO

Para el cálculo de costos de la operación de troceo se utilizan los mismos datos de referencia utilizados para la operación de corta. Solamente se recalculan los costos de combustible y aceite de cadena, ya que la eficiencia de la operación cambia a 59,43 %. Para el cálculo del costo de producción se utiliza la producción obtenida en la operación que es de 1,49 m³/h.

Costos fijos: ver los costos calculados para la operación de corta

Costos variables recalculados:

Combustible:

$$\frac{\text{¢}5084,51 + (\text{¢}653 * 20)}{20 + 1} * 0,62 = \text{¢} 535,70/h. efectiva$$

Aceite de la cadena:

$$\text{¢}1529,10 * 0,37 = \text{¢} 565,77/h. efectiva$$

Cuadro 19. Resumen del cálculo del costo horario para la etapa de troceo del aprovechamiento forestal en el Sitio 3. Ticabán, Pococí, Limón. 2018

Costos fijos	¢/h. prog.
Depreciación Motosierra	61,90
Costo capital	7,68
Total	69,58
Costos variables	¢/h. efectiva
Depreciación sable	206,01
Depreciación cadena	113,40
Combustible	535,70
Aceite cadena	565,77
Mantenimiento y reparación	61,90
Total C.V. (¢/h. efectiva)	1 482,78
Total C.V. (¢/h. prog.)	881,22
Mano de Obra	¢/h. prog.
Sierrero	1 400,00
Ayudante	1 200,00
C.C.S.S. (48,67%)	1 265,42
Total M.O.	3 865,42
Rubro	¢/h. prog.
Costos fijos	69,58
Costos variables	881,22
Costos mano de obra	3 865,42
Total (¢/h. prog.)	4 816,22
Producción (m³/h. prog.)	1,49
Costo total de producción (¢/m³)	3 232,36
Costo total de producción (¢/PMT)	8,93

Anexo 2. Análisis estadístico comparativo realizado a las variables de eficiencia y producción obtenidas en cada uno de los sitios evaluados.

Cuadro 20. Comparación de la eficiencia obtenida en los tres sitios evaluados en la primera fase del arrastre utilizando búfalo de agua. 2018.

<i>Sitios evaluados</i>	<i>p-value (normalidad)</i>	<i>Eficiencia promedio (%)</i>	<i>p-value (ANDEVA)</i>	<i>Prueba de Tukey *</i>
Sitio 1	0,2443	62,22		A
Sitio 2	0,0624	71,23	0,0001	B
Sitio 3	0,1594	77,44		B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cuadro 21. Comparación de la producción obtenida en los tres sitios evaluados en la primera fase del arrastre utilizando búfalo de agua. 2018.

<i>Sitios evaluados</i>	<i>p-value (normalidad)</i>	<i>Producción promedio (m³/h. prog)</i>	<i>p-value (ANDEVA)</i>	<i>Prueba de Tukey *</i>
Sitio 1	0,5069	2,64		A
Sitio 2	0,2819	1,72	0,0001	B
Sitio 3	0,2520	1,73		B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cuadro 22. Comparación de la eficiencia obtenida en los tres sitios evaluados en la segunda fase del arrastre utilizando tractor agrícola. 2018.

<i>Sitios evaluados</i>	<i>p-value (normalidad)</i>	<i>Eficiencia promedio (%)</i>	<i>p-value (ANDEVA)</i>	<i>Prueba de Tukey *</i>
Sitio 1	0,5211	73,87		A
Sitio 2	0,4451	70,65	0,0029	A
Sitio 3	0,6555	88,10		B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Cuadro 23. Comparación de la producción obtenida en los tres sitios evaluados en la segunda fase del arrastre utilizando tractor agrícola. 2018.

<i>Sitios evaluados</i>	<i>p-value (normalidad)</i>	<i>Producción promedio (m³/h. prog)</i>	<i>p-value (ANDEVA)</i>	<i>Prueba de Tukey *</i>
Sitio 1	0,4086	3,67		A
Sitio 2	0,9260	1,97	0,0007	B
Sitio 3	0,8762	3,58		A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 3. Evidencias de las actividades realizadas para promocionar el uso de búfalos de agua en sistemas de arrastre de madera combinados.

TEC
 ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL
 UNIDAD DE VINCULACIÓN FORESTAL
 DÍA DE CAMPO: "Buenas prácticas para el establecimiento, manejo y aprovechamiento de plantaciones forestales"
 FECHA: 30 de noviembre de 2017

	NOMBRE COMPLETO	FIRMA
18	Emly Rego Sabero	Emly R.
19	Mario M. Sabero	
20	Wiviana Wanda Delgado	W.D.
21	Juan Sebastián González	J.G.
22	Regina Amparo Muñoz	R.A.
23	Roberto Salas Jiménez	R.S.
24	Roberto Salas Jiménez	R.S.
25	Roberto Salas Jiménez	R.S.
26	Georgi Gombary	
27	Jesús Sandoval	J.S.
28	Georgi Gombary	
29	Hector Herrera Pacheco	H.H.
30		

	NOMBRE COMPLETO	FIRMA
1	Rafael Barrantes A	R.B.
2	Cledemaria Fariña S	C.F.
3	Antonio Rosero	A.R.
4	Andrey Matías Cordero	A.M.
5	P.A.B.	
6	Alvin Prieto Cedeño	A.P.
7	Reynaldo M. M. M.	R.M.
8	Heinric Ullrichs Benavente	H.U.
9	Spencer John Tolletson	S.J.
10	Mirya Lorena Guastón	M.L.
11	Willy Willy	W.W.
12	Levi I. López de la Cruz	L.L.
13	Marta Patricia Barrios	M.P.
14	José Luis López S	J.L.
15	Valeria Rosalva	V.R.
16	Kevin Ureaga Rodríguez	K.U.
17	Tatiana Quinsola Alvarado	T.Q.

TEC

Figura 11. Lista de asistencia al día de campo realizado el 30 de noviembre de 2017. Ticabán, Guápiles, Limón.



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA INGENIERIA FORESTAL-PROGRAMA DE REGIONALIZACION

**ASOCIACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE
LA REGIÓN ATLÁNTICA (ASIREA)**

DÍA DE CAMPO

**“Buenas prácticas para el establecimiento,
manejo y aprovechamiento de plantaciones
forestales.”**

Lugar: Finca de ~~Albin~~ Picado. Porvenir de Ticabán. Pococí, Limón.
Fecha y hora: Jueves 30 de noviembre del 2017, 9 am.

PROGRAMA

1. Bienvenida y presentación.
2. ASIREA: apoyo al productor hoy, mañana y siempre.
3. Mejora genética para aumentar la producción de madera.
4. Buenas prácticas para el establecimiento de una plantación.
5. Mantenimiento y manejo adecuado para maximizar el volumen.
6. Planificación del aprovechamiento para minimizar los costos.
7. Uso de búfalos de agua como método adecuado para el arrastre.
8. Aspectos financieros de la reforestación comercial.
9. Convenio ASIREA-STHILL

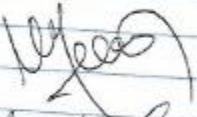
Figura 12. Programa del día de campo realizado el 30 de noviembre de 2017. Ticabán, Guápiles, Limón.

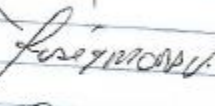
Instituto Tecnológico de Costa Rica Miércoles 16 de Mayo, 2018
 Lista Asistencia, Capacitación: Fortalecimiento del uso de técnicas
 apropiadas en el aprovechamiento forestal de plantaciones.


* Edison Alberto Cubero Gamboa
 Jason Rojas Guerrero.
 Juan Carlos Domínguez.
 Enrique Rojas
 Roberto Salas Amara
 Sergio Alejandro Jasso


Figura 13. Lista de asistencia a la capacitación realizada el día de mayo de 2018. Ticabán, Guápiles, Limón.


Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Visita guiada a criadores de búfalos de
diferentes partes del país. 30-05-2018


Mario Pavón Pacheco


Guillermo Mora Jarama


Denis Zúñiga Castro 10880054


Franco Estrada 1-1329-0561


Luis Sclano Carmona 1-490-399


José Roberto Fariñez Morúa 2554841




Alvaro Salas Vega 2373828


Figura 14. Lista de asistencia al taller dirigido a bufaleros de Costa Rica, realizado el día 30 de mayo de 2018. Ticabán, Guápiles, Limón.



TEC Tecnológico de Costa Rica
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ACTIVIDAD: Capacitación en Silvicultura de plantaciones forestales.
FECHA: 26-10-2018





	NOMBRE COMPLETO	CORREO ELECTRÓNICO	FIRMA
18	Elvira Jimenez Bernaldez	jimenezelvira81@gmail.com	
19	Eduardo Cordero Gonzalez,		
20	Luis Alberto Aguilar Garcia	luis_agm@live.com	
21	Humberto Gomez Jimenez	gphumberto@gmail.com	
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			

Figura 15. Lista de asistencia a la visita guiada dirigida a pequeños productores del Valle de la Estrella, realizada el día 26 de octubre de 2018. Ticabán, Guápiles, Limón.

Anexo 4. Manual para el arrastre de madera en sistemas combinados de dos fases.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INNOVACIÓN FORESTAL**

***Manual para el arrastre de madera en sistemas
combinados de dos fases***

Ing. Verónica Villalobos Barquero

Ing. Alejandro Meza Montoya

Noviembre, 2018

Presentación

Este manual fue diseñado con la finalidad de hacer llegar al pequeño productor la información necesaria para realizar la extracción de la madera de sus plantaciones forestales, previendo un menor impacto a su finca, un mayor aprovechamiento de sus recursos y garantizando un mayor ingreso económico.

El objetivo principal del Manual “Arrastre de madera en sistemas combinados de dos fases”, es describir la técnica adecuada de extracción de madera utilizado un sistema de arrastre en dos fases, en las plantaciones forestales de pequeños y medianos reforestadores de Costa Rica, basado en la utilización de búfalos de agua y tractores agrícolas como principales fuerzas de arrastre.

Tabla de contenido

Capítulo I. Introducción	4
Capítulo II. I Fase de arrastre	5
Fuerza animal	5
Búfalos de agua	6
Técnica de arrastre de madera con búfalos de agua	6
Aditamentos utilizados para el arrastre	9
Uso de cadenas	9
Uso de Sulky	10
Capítulo III. II Fase de arrastre	11
Tractores agrícolas en labores forestales	11
Técnicas de arrastre de madera con tractores agrícolas	12
Capítulo IV. Ventajas y desventajas de los sistemas de arrastre combinados	16
Ventajas	16
Desventajas	16
Capítulo V. Bibliografía	17

Capítulo I. Introducción

El aprovechamiento forestal de plantaciones es una de las etapas que componen el sistema de producción de madera reforestada. Aunque sería incorrecto afirmar que es la más importante, sí es claro que si no se ejecuta con las tecnologías apropiadas podría generar grandes impactos al ambiente y al producto, elevando los costos de producción de todo el sistema.

El aprovechamiento forestal también es un sistema de producción en el que existen una serie de etapas que deben ser planificadas y ejecutadas en forma ordenada y lógica, de manera que en cada una de ellas se garantice la seguridad del personal, la calidad del producto obtenido, la fluidez de la operación, una alta producción y por supuesto un costo de producción bajo. Una de estas etapas es el arrastre o extracción de la madera, el cual consiste en transportar los fustes desde el sitio de corta hasta un camino, un patio de acopio o el patio de carga.

Tradicionalmente en Costa Rica, el arrastre de la madera producida en plantaciones forestales ha sido ejecutado por medio de tractores agrícolas, bueyes y más recientemente búfalos de agua. El arrastre en el aprovechamiento forestal debe de ser previamente planificado, con el fin de asegurar el menor impacto al suelo y el mínimo costos posible. La planificación de esta etapa incluye aspectos como la elección de las tecnologías a utilizar, el equipo primario y secundario, la técnica de extracción seleccionada y el diseño de la red vial, entre otros. En cuanto a la red vial, ésta debe de garantizar una buena ubicación y diseño de los patios de acopio y carga y una adecuada distribución de las pistas de saca y pistas de arrastre por donde circulará el método de extracción seleccionado, siempre previendo el menor impacto negativo al suelo producto de la compactación causada por el paso de tecnología pesada.

La operación de arrastre se puede realizar de manera directa en una sola fase, trasladando los árboles previamente volteados desde el lugar de corta hasta el patio dispuesto para la carga final de la madera; o bien puede efectuarse en dos fases involucrando dos métodos de arrastre distintos. El objetivo principal de un arrastre en dos fases es maximizar las ventajas y minimizar las desventajas que cada uno de los métodos puede presentar cuando son utilizados de manera individual, en un arrastre de madera convencional.

Este manual describe una propuesta de un sistema de arrastre combinado en el que el búfalo de agua figura como principal método de extracción en una primera fase mientras que el tractor agrícola será la tecnología utilizada para arrastrar la madera en la segunda fase.

Capítulo II. I Fase de arrastre

Fuerza animal

La extracción de madera de plantaciones forestales en Costa Rica, ha incorporado la fuerza animal desde los tiempos de la Colonia principalmente con el uso de bueyes. Los animales han sido parte importante en las labores de arrastre más por el bajo costo de adquisición que representan, que por el reconocimiento de sus virtudes y ventajas en este tipo de actividades, desperdiciando en muchos casos el potencial que puedan brindar en las diferentes etapas del sistema de producción de madera reforestada.

El cuadro 1 muestra algunas ventajas y desventajas del uso de fuerza animal en sistemas combinados de arrastre de madera.

Cuadro 1. Ventajas y desventajas del uso de fuerza animal en labores de arrastre de madera.

Ventajas	Desventajas
Bajo costo de operación.	Necesidad de áreas de pastos y potreros
Mínimo daño al suelo por remoción o compactación.	Rendimientos diarios inferiores a otras tecnologías de arrastre.
Necesidad de mano de obra poco especializada.	Atrasos por daño, robo, enfermedad o muerte de uno de los animales.
Poco daño a la masa de árboles remanentes, en casos de raleos.	



Figura 1. Arrastre de madera con bueyes. Santa Rosa de Pocosal, Los Chiles, Costa Rica.

Además de bueyes, los caballos, las mulas y más recientemente los búfalos de agua han sido empleados como animales de tiro.

Búfalos de agua

Los búfalos de agua se encuentran distribuidos ampliamente alrededor del mundo. Según Almaguer (2007), el búfalo tuvo su origen en Asia desde donde fue trasladado a África, luego a Europa, Oceanía y posteriormente a América. En Costa Rica, el búfalo de agua fue introducido en el año 1974, mediante una importación realizada por la Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA), con la intención de incorporar una nueva alternativa para el desarrollo de la producción animal en la zona atlántica del país (Rosales-Rodríguez, 2011), ya que además de su fuerza y de su capacidad para arar y arrastrar realizando labores de campo, el búfalo de agua se ha convertido en una especie de interés económico por su aporte en la producción de alimentos como carne y productos lácteos.

A diferencia de los años 80's en donde había mucho desconocimiento práctico y científico de esta especie, hoy en día existen investigaciones en temas como mejoramiento genético, alimentación, calidad de la carne y leche, innovación en productos lácteos y en rendimientos y eficiencia en labores de tiro. En este último aspecto, la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), ha desarrollado proyectos de investigación y extensión en la región Huetar Caribe con el objetivo de generar información técnica que logre responder a las preguntas de los pequeños y medianos productores de madera que han empleado a estos animales en el aprovechamiento forestal de sus plantaciones.

Producto de estas investigaciones, se presenta a continuación una descripción de las técnicas adecuadas para realizar el arrastre de madera utilizando búfalos de agua como principal método de extracción en una primera fase.

Técnica de arrastre de madera con búfalos de agua

El uso de búfalos de agua en la primera fase de arrastre pretende disminuir los costos de la operación y minimizar el daño causado al ambiente por la compactación de suelos, remoción de materia orgánica y daño a fuentes de agua. Independientemente del aditamento seleccionado para arrastrar, los cuales son descritos más adelante, el búfalo de agua presenta como una de sus grandes ventajas la ausencia o poco daño ocasionado a los árboles remanentes ya que realiza su labor de manera individual (Figura 2), es decir, no trabajan en yunta como en el caso de los bueyes, por lo que el espacio que necesita para transitar entre la plantación es mucho menor y se requiere de un solo animal.



Figuras 2a) y 2b). Arrastre de madera con búfalos de agua.

La primera fase del arrastre realizada con búfalos, incluye el traslado de los fustes desde su lugar de corta hasta un patio de acopio o un camino o pista de arrastre, para que luego sean arrastrados hasta los patios de carga por otras tecnologías con mayor velocidad y potencia. Durante este traslado, los búfalos podrán transitar por las pistas de saca previamente definidas y limpias de obstáculos que impidan o dificulten el paso del animal o el de la carga.

Un aspecto importante en esta fase es que se debe de tomar el tiempo para preparar el patio de acopio en donde los fustes serán acumulados. En esta línea, se colocará un fuste transversal a la dirección en donde el búfalo soltará lo árboles, como se observa en la figura 3, con el objetivo de que los árboles queden elevados del suelo por el extremo en el que luego serán sujetados por el tractor. Esta preparación del patio de acopio debe de ejecutarse antes de iniciar con la labor de arrastre.

Con esta tarea se garantiza mayor fluidez en el amarre de los fustes que serán arrastrados en la segunda fase ya que el operario del tractor agrícola o su ayudante no tendrán dificultades tratando de pasar la cadena por debajo del árbol cuando éste está totalmente en el suelo. A diferencia de lo descrito anteriormente, cuando se aplica esta técnica de elevación de la parte frontal de los árboles, el colaborador encargado del amarre en la segunda fase de arrastre, podrá realizar este trabajo con mucha facilidad, de manera que se disminuyen los atrasos, aumenta el tiempo productivo, los rendimientos y por ende se disminuyen los costos de operación.



Figuras 3a) y 3b). Técnica adecuada de colocar los fustes en el patio de acopio.

Teniendo claro que los fustes no deben de quedar en total contacto con el suelo, debe de considerarse otra técnica que será aplicada en esta primera fase del arrastre de la madera. Cuando el búfalo de agua llegue al patio de acopio (Figura 4) o al camino (Figura 5) donde soltará los fustes arrastrados, los colocará en posición de “espina de pescado”, considerando un espacio en medio del diseño propuesto para que pueda circular el mismo animal o el tractor agrícola quién será el encargado del segundo arrastre.



Figura 4. Fustes colocados en el patio de acopio, según técnica de “espina de pescado”.

Además, los fustes serán colocados en grupos de 6 a 8 árboles según la cantidad y los juegos de cadenas con las que cuente el operario del tractor agrícola. Los árboles se ubicarán, preferiblemente, con la cara

gruesa en posición de salida, es decir, en dirección a la pista de arrastre por la que transitará el chapulín. Los árboles se distribuirán por igual a ambos lados de la pista de arrastre tomando en consideración la cantidad de árboles volteados previamente en cada uno de los lotes, así como el tamaño de los patios dispuestos para el acomodo de la madera.



Figuras 5. Futes colocados sobre la pista de arrastre, según técnica de “espina de pescado”.

Al poner en práctica esta técnica de acomodo de la madera, se está garantizando una maximización del espacio del patio o la orilla de la pista de arrastre, así como fluidez en la operación de extracción. Durante esta etapa, el búfalo puede arrastrar la madera con ayuda de unas cadenas o bien por medio de un sulky, dependiendo de las condiciones del clima, las características del terreno, la distancia de arrastre, entre otros. Ambos aditamentos son descritos a continuación.

Aditamentos utilizados para el arrastre

Uso de cadenas

El arrastre de madera con cadenas es el más utilizado por los bufaleros. Consta de un juego de cadenas, las cuales, en uno de sus extremos amarran la o las trozas, mientras que el otro extremo de la cadena va enganchado en el balancín (parte del aditamento del búfalo para arrastrar madera) (Figura 6a). Con este método, las trozas van en su totalidad en contacto con el suelo por lo que se crea una fricción y una resistencia al arrastre, es por esta razón que este método se recomienda cuando las distancias que deberá recorrer el animal con la carga no superan los 100 metros. Algunas de las ventajas del arrastre con cadenas

son su fácil utilización y su bajo costo, mientras que en sus desventajas se encuentra un mayor daño al suelo producto del contacto continuo y total de la troza, que sólo se pueden arrastrar uno o dos fustes a la vez y hay un mayor desgaste del animal. El arrastre de madera por medio de cadenas se muestra en la figura 6b).



Figuras 6a) y 6b). Aditamento para arrastre: cadenas.

Uso de Sulky

El otro aditamento mayormente utilizado para el arrastre de madera con búfalos de agua es el sulky. Este aditamento es similar a una carreta cuya función principal es elevar la parte frontal de las trozas, disminuyendo la fricción y la resistencia de la troza al arrastre (Figura 7). Esta carreta o arco maderero se amarra directamente a la pechera del búfalo lo que le permite al animal transportar más peso en distancias más largas. Una de sus desventajas es que necesita un mayor espacio entre los árboles para circular, así como condiciones de la finca mucho más favorables que las condiciones en las que se puede arrastrar con cadenas.



Figura 7. Arrastre de madera con sulky.

Independientemente del aditamento utilizado, se recomienda emplear el búfalo de agua en la primera fase del arrastre ya que puede ingresar a sitios de difícil acceso ya sea por pendiente, humedad, presencia de obstáculos como canales o zanjas, entre otros. Siguiendo las pautas de arrastre en esta fase, los fustes quedarán dispuestos para el arrastre final.

Capítulo III. II Fase de arrastre

Tractores agrícolas en labores forestales

Dadas las características principales de las plantaciones forestales en Costa Rica y de las empresas reforestadoras, entre las cuales destacan las pequeñas áreas plantadas y la inversión limitada que tienen estas empresas, es que se utiliza mayormente el tractor agrícola para realizar los aprovechamientos forestales. Si bien es cierto esta máquina no fue diseñada originalmente para emplearse en labores forestales, su bajo costo de adquisición y su versatilidad, comparado con el tractor de oruga y el tractor forestal articulado, además de su rendimiento y eficiencia en pequeños proyectos madereros, justifican su uso en este tipo de actividades.

Es así como el tractor agrícola ha sido considerado como la tecnología más adecuada para realizar el arrastre de madera en la segunda fase del sistema de extracción propuesto en este manual. A continuación, se describe la técnica de arrastre recomendada.

Técnicas de arrastre de madera con tractores agrícolas

La segunda fase del arrastre en sistemas combinados comprende el traslado de los fustes desde el patio de acopio en donde los búfalos soltaron la madera, hasta el patio final dispuesto para la carga de la madera en los camiones y el transporte fuera de la finca. El uso del tractor agrícola en una segunda fase, pretende focalizar el impacto al suelo producto de la compactación por el paso de esta máquina, a una sola pista de arrastre previamente diseñada y señalada (Figura 8a). Durante la extracción de la madera, el tractor no podrá circular por ninguna otra parte de la plantación que no haya sido previamente definida como una pista de arrastre, con el fin de concentrar el impacto en un solo lugar, como se muestra en la figura 8b) y evitar alteraciones y movimientos de tierra en toda la finca (Figura 9).



Figura 8a) y 8b). Paso del tractor agrícola únicamente por la pista de arrastre.



Figura 9. Paso del tractor agrícola sin planificación por varios lugares de la finca.

Como se observa en la figura 9, el daño ocasionado al suelo va a ser mucho mayor en los casos en donde no haya previa planificación y señalamiento de la red vial que será utilizada para extraer la madera, ya que, por costumbre de la mayoría de los operarios de estas máquinas, sacarán la madera por donde sea más fácil y cómodo sin tener en cuenta el daño que puedan provocar.

Teniendo claro por donde se arrastrará la madera dentro de la plantación, se recomienda utilizar doble juego de las cadenas para amarrar las trozas al tractor. Con esta técnica, el primer juego de cadenas irá con una carga de madera que va siendo arrastrada hasta el patio final de carga, mientras que el segundo juego de cadenas estará siendo utilizado por el ayudante del operario del tractor agrícola, quién amarrará otro grupo de trozas en el patio de acopio mientras espera que el tractor complete un ciclo de arrastre (Figura 10). Es indispensable que el operario del tractor agrícola cuente con un ayudante, dado que el objetivo principal del doble juego de cadenas es agilizar el proceso de arrastre y hacer que la operación completa de la extracción en dos fases, tenga la mayor fluidez posible. Cuando se trabaja con dos juegos de cadenas, el tiempo que invierte el operario del tractor o su ayudante amarrando las trozas a la máquina va a ser mucho menor, de manera que el tractorista ocupará una mayor parte del tiempo arrastrando madera de un lado a otro, con el consecuente aumento de la producción y la disminución de los costos de la operación.



Figura 10. Arrastre de madera con tractor agrícola, utilizando dos juegos de cadenas.

Hoy en día los tractores que trabajan en labores forestales tienen una barra de metal acoplada en el sistema de 3 puntos, con unos ganchos o cejillas que le permiten sujetar las cadenas al chapulín. En otros casos en que la barra no tiene estos ganchos, se utilizan dos cadenas largas con dos ganchos en cada una de sus puntas, que van enrolladas en la barra y que cumplen la misma función antes mencionada (Figura 11).



Figura 11. Mecanismo de amarre de las trozas al tractor agrícola.

El objetivo principal de esta barra (Figura 11), que a su vez cuenta con un sistema hidráulico que permite elevarla, es asegurar que la parte frontal de las trozas no vayan en contacto con el suelo. Esta barra hidráulica se baja al momento en el que los fustes están siendo amarrados y se vuelve a subir luego de

sujetados, garantizando un menor impacto al suelo producto del arrastre. Esta función de elevar las trozas se vuelve importante dentro del sistema de arrastre propuesto ya que el chapulín al transitar por una única pista con una gran carga de madera, podría en cuestión de un par de días, crear un gran impacto al suelo, lo que implicaría el diseño de una nueva pista de arrastre y así varias veces hasta que el daño total alcance un gran porcentaje del área de la finca.

Por último, le corresponde al operador del tractor agrícola maximizar el espacio en el patio de carga, previendo un buen acomodo de los árboles en cada uno de los ciclos de arrastre (Figura 12), de manera que se pueda ir troceando y cargando madera al mismo tiempo que se realiza la extracción.



Figura 12. Acomodo adecuado de un patio de carga.

Aunque el troceo y la carga no forman parte del sistema de arrastre de madera en dos fases descrito en este manual, se recomienda mantener muy ordenado el patio de carga, ya que atrasos en estas etapas sí afectarían directamente la operación de arrastre. La figura 13 muestra una cuadrilla de colaboradores encargados de ir troceando los fustes que van siendo arrastrados, al mismo tiempo que van apilando por tamaño, grosor y calidades de las trozas. Manteniendo un patio limpio y espacioso, se asegura una mayor fluidez en la etapa de arrastre.



Figura 13. Etapa de troceo

Capítulo IV. Ventajas y desventajas de los sistemas de arrastre combinados

Ventajas

- ✓ Garantizar la mayor producción posible durante el proceso de extracción.
- ✓ Maximizar el potencial de cada uno de los métodos utilizados.
- ✓ Reducir lo más posible los daños causados por compactación, la alteración al suelo debido al paso de maquinaria y la posible afectación a cursos de agua existentes.
- ✓ Disminuir los costos de operación.
- ✓ Minimizar el daño provocado a los árboles remanentes producido por el paso de la maquinaria o de los árboles arrastrados.

Desventajas

- ✓ La operación de saca en la primera fase podría ser un poco más lenta.
- ✓ Bajo rendimiento por hora y por día.
- ✓ Se necesita espacio de pasto cercado y seguro para alojar al búfalo en las noches.

Capítulo V. Bibliografía

Almaguer Pérez, Y. (2007). El búfalo, una opción de la ganadería. Revista electrónica de veterinaria. VIII, 8. Disponible en <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080807/080709.pdf>

Rosales-Rodríguez, R. (2011). Situación del búfalo de agua en Costa Rica. Revista Tecnología en Marcha, 24(5), 19.