

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN INNOVACIÓN FORESTAL

INFORME FINAL DEL PROYECTO:

“Valoración y promoción de la utilización de búfalos de agua en labores de aprovechamiento de plantaciones forestales”

AUTORES:

Ing. Alejandro Meza Montoya, Coordinador

Ing. Verónica Villalobos Barquero

JUNIO, 2017

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	2
RESUMEN	5
PALABRAS CLAVE	6
I. INTRODUCCIÓN	7
II. MARCO TEÓRICO	8
2.1 El aprovechamiento de plantaciones forestales	8
2.2 Métodos de arrastre utilizados en el aprovechamiento de plantaciones forestales ..	9
2.3 Utilización y rendimiento de la tracción animal en arrastre de madera de plantaciones forestales	10
2.3.1 Los Bueyes	10
2.3.2 Los búfalos de agua	11
2.4 Consideraciones y regulaciones del uso de animales de trabajo.....	11
III. METODOLOGÍA.....	12
3.1 Descripción del área de estudio	12
3.2 Evaluación técnica de la operación de arrastre utilizando búfalos de agua.....	13
3.2.1 Diseño de muestreo	13
3.2.2 Determinación del ciclo productivo	13
3.2.3 Determinación de la eficiencia y la producción	13
3.2.4 Análisis de los datos	14
3.2.5 Predicción de la producción en arrastre.....	15
3.3 Evaluación del impacto de la operación	16
3.3.1 Impacto en los árboles remanentes	16
3.3.2 Impacto en el suelo	17
a) Disturbio del suelo.....	17
b) Compactación del suelo.....	18
3.3.3 Área afectada por construcción de pistas y patios	18
3.4 Determinación de los costos de la operación.....	18
3.5 Promoción del uso de búfalos de agua en arrastre de madera de plantaciones.....	19
3.5.1 Elaboración de material divulgativo.....	19
a) Desplegable	19
b) Manual para ejecutar arrastre de madera de plantaciones con búfalo	19
3.5.2 Planificación y ejecución de un día de campo demostrativo.....	19

IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1	Descripción del sitio de muestreo	19
4.2	Ciclo de producción del arrastre de madera de plantaciones utilizando búfalo de agua	20
4.2.1	Métodos de arrastre	20
4.2.2	Definición del ciclo productivo	22
4.2.3	Descripción de los movimientos productivos.....	23
a)	Viaje vacío.....	23
b)	Amarre de la carga.....	24
c)	Viaje cargado.....	24
d)	Soltar la carga	26
4.2.4	Distribución del tiempo de la jornada promedio de arrastre	26
4.2.5	Eficiencia y producción del arrastre con búfalos de agua	31
a)	Tratamiento silvicultural.....	32
b)	Método de arrastre	33
4.2.6	Predicción de la producción	35
a)	Generación de un modelo de regresión para un conjunto de datos obtenidos durante un raleo	35
b)	Generación de un modelo de regresión para un conjunto de datos obtenidos durante una tala rasa	36
c)	Validación de los modelos.....	37
4.3	Impacto de la operación	38
4.3.1	Impacto de la operación de arrastre con búfalo de agua en los árboles remanentes	38
4.3.2	Impacto de la operación de arrastre con búfalo de agua en el suelo	39
a)	Disturbio en el suelo	39
b)	Compactación de suelo.....	40
4.3.3	Área afectada por construcción de pistas	42
4.4	Costos de operación del búfalo de agua en arrastre	43
4.4.1	Costos fijos	43
4.4.2	Costos variables.....	43
4.4.3	Costo de producción	43
4.5	Divulgación de resultados.....	44
4.5.1	Día de campo	44

4.5.2	Manual técnico	44
4.5.3	Congresos y publicaciones	44
4.5.4	Participación de estudiantes.....	45
V.	CONCLUSIONES.....	45
VI.	RECOMENDACIONES	46
VII.	AGRADECIMIENTOS.....	46
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
IX.	ANEXOS	50

CÓDIGO DEL PROYECTO: 1401-058

TÍTULO: “Valoración y promoción de la utilización de búfalos de agua en labores de aprovechamiento de plantaciones forestales”

AUTORES: Ing. Alejandro Meza Montoya (Coordinador)
almeza@itcr.ac.cr
Ing. Verónica Villalobos Barquero
vvillalobos@itcr.ac.cr

RESUMEN

El objetivo del proyecto fue realizar una evaluación técnica del uso de búfalos de agua en la labor de arrastre de fustes de árboles de plantaciones forestales, evaluando también el impacto a nivel de suelo, área productiva y árboles remanentes causado por el uso del animal.

Se utilizaron estudios de tiempos y movimientos para evaluar la jornada de trabajo y definir los movimientos del ciclo productivo que determinan la eficiencia de la operación. La producción obtenida se calculó con base en la cubicación del volumen arrastrado durante cada una de las jornadas de trabajo. Al finalizar el trabajo en cada una de las plantaciones evaluadas se realizaron muestreos sistemáticos de suelos para determinar la densidad aparente en sitios evidentemente disturbados por el paso del búfalo y en sitios no disturbados, también se valoró el disturbio en el suelo utilizando transeptos distribuidos sistemáticamente en el área aprovechada y se determinaron en las cercanías de las pistas de arrastre utilizadas los daños a los árboles remanentes causados por el búfalo o los fustes al ser arrastrados.

Se utilizaron cuatro tratamientos para la evaluación, dos de carácter silvicultural (raleo y tala rasa) y dos relativos al método de arrastre (cadena y sulky). Se determinó el ciclo de producción y se obtuvieron eficiencias¹ promedio de 57.96 y 58.28 % para los tratamientos raleo y tala rasa respectivamente; para el arrastre utilizando el “sulky”, que solo fue utilizado en tala rasa, se obtuvo un 45.29 % de eficiencia.

En cuanto a la producción, no se encontraron diferencias significativas entre los métodos de arrastre (cadena y “sulky”); pero en los tratamientos silviculturales se encontró una pequeña diferencia, los datos de las medias sugieren la formación de dos grupos con características de producción similares: las fincas en las que se aplicó raleo (1.11 m³/h) y las fincas en las que se ejecutó la tala rasa (1.15 m³/h).

No se determinaron impactos importantes a nivel de suelo (compactación y disturbio), ni en los árboles remanentes cuando se arrastró la madera con el búfalo de agua. El área impactada por pistas de arrastre no supera el 6% en ninguna de las fincas evaluadas.

¹ Eficiencia es la relación entre el número de observaciones productivas y el número total de observaciones.

El proyecto concluye que el búfalo es un animal dócil, ágil y capaz de evitar obstáculos en el campo por su condición de trabajar solo (no en yunta). Es un animal constante en el trabajo y adaptable a diferentes condiciones de sitio. Los búfalos de agua trabajando en la operación de arrastre de fustes de plantaciones forestales tienen una eficiencia baja, pero las acciones para aumentar esta variable son sencillas y fáciles de implementar. Para aumentar la eficiencia del arrastre con búfalos se debe planificar las labores del sistema para que las operaciones anteriores y posteriores al arrastre, faciliten las labores del búfalo.

El arrastre de fustes que presenten un mayor volumen por unidad, podría aumentar significativamente la producción obtenida por hora y por tanto disminuir el costo de producción.

Al utilizar búfalos de agua en el arrastre de fustes de plantaciones forestales, la producción es baja comparada con métodos mecanizados, pero se ve compensada con el bajo costo de producción; los niveles de producción requeridos por día pueden obtenerse ajustando la cantidad de animales que trabajan.

PALABRAS CLAVE: aprovechamiento forestal, búfalos de agua, arrastre, arrastre con búfalos, tracción animal.

I. INTRODUCCIÓN.

La situación forestal de Costa Rica en la actualidad señala una baja en la producción de madera proveniente de bosques naturales, fuente que abasteció la industria por muchas décadas. La materia prima que utilizan las industrias actualmente proviene en su mayoría de terrenos agropecuarios y reforestación, según la Oficina Nacional Forestal (2017).

La madera aprovechada en terrenos agropecuarios, en su mayoría, proviene de árboles residuales del bosque natural luego del cambio de uso de muchos terrenos realizado hace algunos años, en muchos casos en forma ilegal. Otra parte proviene de la regeneración natural en potreros de especies como cedro amargo y laurel.

La ONF (2017) señala que el consumo de madera reforestada en la industria es decreciente en términos generales. La baja en el consumo de madera reforestada en la industria forestal obedece directamente a la disminución de las fuentes de materia prima, es decir las plantaciones forestales. Esta situación hace reflexionar sobre los aspectos que han generado la disminución del área plantada anualmente con especies comerciales.

Según el Banco Mundial (2016), la producción maderera local, las inversiones del sector privado y los empleos en el sector forestal han disminuido considerablemente. Datos de la Oficina Nacional Forestal (2014) indican que el área sembrada de plantaciones forestales pasó de entre 130 mil y 140 mil hectáreas en los mejores años a finales de la década de 1990, a apenas unas 60.000 hectáreas estimadas al momento del informe. Son varios los aspectos que han influido para que la reforestación haya disminuido en Costa Rica, entre ellos están el deficiente sistema de financiamiento, la escasez de productos a elaborar con la madera producida ya que del año 2011 al 2014 se produjo una contracción del 5,05% del consumo de los productos primarios de madera (ONF, 2014), la baja productividad de las plantaciones y la baja utilidad recibida después de varios años de mantener y manejar la plantación.

Cada uno de estos elementos requiere de una amplia reingeniería para modificar por completo el sector reforestador en Costa Rica; en este proyecto se trató de brindar alternativas adecuadas para realizar el arrastre en la operación de aprovechamiento forestal, de modo que los costos de la labor disminuyan y los métodos de arrastre estén más al alcance de los productores de madera, esto permitirá disminuir el costo total de producción de la madera reforestada y por tanto mejorar las utilidades recibidas por el productor.

El uso de fuerza animal en las labores de arrastre es un método accesible a la mayoría de los productores y específicamente el uso de búfalos de agua permite, no solo contar con un método eficiente y de bajo costo, sino que brinda alternativas de ingresos al comercializar la carne, la leche y los sub-productos de la leche, que han demostrado tener un valor mucho más alto que la carne y la leche de ganado vacuno.

El búfalo de agua no es de uso tradicional en Costa Rica para el arrastre de madera, como sí lo son los bueyes; por esta razón este proyecto pretendió evaluar el animal desde diferentes puntos de vista: su eficiencia, su producción, sus costos de producción y el impacto causado al realizar la operación. La evaluación realizada es de carácter básico, generando la información de las variables mencionadas que eran desconocidas hasta la fecha; se utilizaron estudios del trabajo y un análisis detallado de los ciclos de producción en la labor de arrastre.

Finalmente el proyecto pretendió realizar un primer acercamiento con productores para brindar la información recopilada de los búfalos de agua y tratar de promocionar su uso en labores de aprovechamiento.

II. MARCO TEÓRICO.

2.1 El aprovechamiento de plantaciones forestales:

Las plantaciones forestales han sido parte importante en el uso de la tierra desde hace varias décadas y se espera que aumenten en los próximos años, tanto para la producción de madera con fines industriales como para la generación de servicios, especialmente la recuperación de tierras degradadas (Prado, 2015). En la mayoría de los casos, las plantaciones se comportan como monocultivos: edad uniforme y misma especie, lo que facilita el manejo y la cosecha al final del turno.

El fin último de las plantaciones forestales es alcanzar la producción que permitan obtener la mejor rentabilidad para el productor, en concordancia con buenas prácticas de manejo que garanticen la conservación de los suelos, protección de cursos de agua, fauna, belleza escénica, entre otras (Sotomayor, Helmke, y García, 2002), mediante un aprovechamiento sostenible. Según Evans (1998), los datos procedentes de las diversas regiones del mundo indican que las plantaciones pueden ser sostenibles desde el punto de vista del rendimiento de madera, en cualquier situación, considerando los avances en los paquetes tecnológicos que mejoran la silvicultura y el aprovechamiento de la madera reforestada.

La reforestación para que realmente sea una actividad rentable debe ser concebida como un sistema de producción de madera de alta calidad. En este sistema la etapa de aprovechamiento forestal es uno de los pasos más complicados por diferentes razones, por ejemplo la tecnología que requiere, el impacto que podría causar y los niveles de producción y eficiencia requeridos entre otros. Aunque sería incorrecto afirmar que es la etapa más importante, si es claro que el aprovechamiento forestal puede generar grandes pérdidas de madera y causar altos impactos ambientales si no es bien planificada y ejecutada con las tecnologías apropiadas.

Muchas empresas han avanzado por caminos incorrectos, utilizando las mismas tecnologías que se utilizaron para el aprovechamiento del bosque natural, obteniendo resultados poco alentadores y causando alteraciones en el suelo que ponen en duda su uso para nuevas rotaciones. La experiencia de varios años de estas empresas las ha llevado a utilizar una

mecanización intensiva, utilizar métodos no mecanizados como la fuerza animal o bien una combinación de ambos; la utilización de uno u otro método depende de la calidad de las plantaciones que aprovecha, del área de las mismas, de la topografía presente en esos sitios, de la estabilidad de la operación en el tiempo y de su capacidad organizacional y financiera.

El aprovechamiento forestal es una de las etapas más importantes de la producción de madera. Según Prado (2015) existe una relación directa entre la pérdida de productividad y las malas prácticas de cosecha, disminuyendo la fertilidad del suelo y las posibilidades de cosechas posteriores. Por las condiciones lluviosas, las pequeñas áreas reforestadas y las condiciones de pendientes presentes en Costa Rica, las tecnologías utilizadas durante las cosechas de madera se reducen a tractores agrícolas y animales. Cándano, Vidal, Pinto y Machado (2004) destacan ventajas del uso de animales sobre la tecnología mecanizada como por ejemplo: daños mínimos a la cubierta vegetal, menos compactación del suelo y bajos costos de adquisición, de ahí la importancia del estudio y promoción de la utilización de los búfalos de agua en labores de arrastre dentro del aprovechamiento de madera reforestada.

2.2 Métodos de arrastre utilizados en el aprovechamiento de plantaciones forestales.

El arrastre o transporte menor de la madera producida en plantaciones forestales en Costa Rica, se ha realizado a lo largo de los años principalmente por tecnologías mecanizadas como el tractor agrícola, el tractor de oruga o el tractor forestal articulado (*skidder*). Además, debido a las características de clima y pendiente propias del país, se ha utilizado la tracción animal, como bueyes, caballos y más recientemente los búfalos de agua.

Costa Rica históricamente ha utilizado a los caballos en el transporte de personas y como animales de tiro, sin embargo para el transporte de productos y para labores agroforestales los bueyes han sido el principal método utilizado. Cordero, Frisk y Dykstra (1995) relacionan el uso de bueyes con el transporte del café desde el Valle Central hasta Puntarenas para su exportación.

La sustitución de la fuerza animal inicia con la construcción del primer ferrocarril en Costa Rica y en labores agrícolas inicia a partir de 1950 cuando se empezaron a mecanizar estas labores (Cordero *et al.*, 1995), pero es realmente a partir de la década de los 80's que los tractores empiezan a tomar fuerza en las labores agroforestales (Cándano *et al.*, 2004).

Un estudio realizado por Chirwing (1994) muestra que para el año 1961 la fuente principal de trabajo era representada por animales los cuales aportaban al menos el 70% del requerimiento total, mientras que el trabajo manual figuraba en segundo puesto con 23%. En 1991 el puesto de fuente principal lo tenían los motores eléctricos, con 31% del total, seguido por la contribución de los animales de trabajo con 25% y en tercer lugar los tractores con 20%.

Además del auge de la tecnología mecanizada, a inicios de los 80's aparece en Costa Rica el búfalo de agua (Rosales, 2011). Según Torres (2009), el búfalo puede arrastrar una carga de

hasta seis veces su peso corporal; estas cargas pueden ser movilizadas por un lapso de 3 a 4 horas continuas o de 6 a 8 horas diarias con intervalos de descanso.

Existen muchos lugares en el mundo donde la fuerza animal tradicional ha sido reemplazada por la tracción mecanizada, no obstante, existirán muchas situaciones donde será difícil ver a los productores teniendo la capacidad de adoptar la tecnología mecanizada (Arriaga, Castelán y Velásquez, 2003), principalmente por las limitaciones económicas que caracterizan a los pequeños productores y por los altos costos de adquisición de la maquinaria.

Sin aras de demostrar si la fuerza animal es mejor que la tracción mecanizada o viceversa, el objetivo de su utilización debe ser claro: aumentar la producción de la actividad forestal, disminuyendo los costos en cada una de las etapas del aprovechamiento de la madera reforestada y presentar una alternativa para el arrastre validada con información confiable que sirva a los usuarios potenciales para la toma de decisiones.

Los bueyes en Costa Rica se utilizan desde los tiempos de la colonia y sin embargo, el uso de animales en labores de aprovechamiento forestal ha llegado a algunas empresas, más por disminuir el uso de los combustibles que utilizan las máquinas por su alto costo, que por la comprensión de sus capacidades y el reconocimiento de sus habilidades para trabajar en plantaciones forestales. Por esta razón el uso de bueyes en la etapa de aprovechamiento forestal, se ha realizado sin ninguna planificación, desperdiciando en muchos casos el potencial que estos animales pueden brindar.

Por otra parte, el uso de búfalos de agua no ha sido implementado en Costa Rica por diversas razones, siendo la principal, el desconocimiento de las capacidades y bondades de este animal. De hecho, la importación de búfalos se inició apenas en el año 1975, cuando la Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente del Caribe (JAPDEVA) trajo algunos especímenes para la producción de leche y carne.

2.3 Utilización y rendimiento de la tracción animal en arrastre de madera de plantaciones forestales.

2.3.1 Los Bueyes.

El buey se utiliza desde tiempos de la colonia como animal de tracción y aunque no hay documentación precisa, parece que el ganado vacuno se utilizó antes para el trabajo que para la producción de leche y carne.

Los bueyes tienen la característica de ser muy versátiles, pueden desempeñarse en labores agrícolas, forestales e incluso como medio de transporte. Puede ser criado e incluso producido por los campesinos, al igual que los alimentos para su sostenimiento. Es lento

pero constante, resistente, fuerte, fácil de conducir y tiene un valor de rescate como carne que puede cubrir la inversión si previamente se le brinda un régimen de engorde (FAO, 1984).

Los bueyes son los animales de trabajo más conocidos y utilizados en Latinoamérica, por eso existe gran cantidad de información y experiencia en la crianza, castración, adiestramiento, manejo de los bueyes, aditamentos y también en sistemas de trabajo, sus rendimientos, impactos y limitaciones.

Los bueyes son susceptibles a una serie de variables como la pendiente, la distancia, el peso de la carga, la resistencia al arrastre según el terreno, etc., que hacen que los rendimientos suban o bajen en la operación. Se reportan datos de 1.48 m³/h para una plantación de pino con diámetro y altura promedio de 30 cm y 24 m respectivamente. También se reportan datos de 1.89 m³/h en distancias de arrastre de 50 a 200 metros y de 1.7 m³/h para distancias menores a 50 metros (FAO, 1984).

Cordero (1988), presenta comparaciones de razas y tamaños de bueyes, combinadas con diferentes pendientes, distancias y volumen de la carga, alcanzando valores de 1.92 a 2.85 m³/h.

2.3.2 Los búfalos de agua.

El uso de búfalos en las labores de arrastre, es una alternativa de bajo costo, poco destructiva y de alto impacto social y económico. Causa poco impacto al suelo y a los árboles remanentes, además de que su carácter biológico genera una reducción en el consumo de combustibles (Cordero citado por Herrera, 1994).

Es poca la información documentada del uso de búfalos de agua en labores de arrastre en Costa Rica. Herrera (1994) reporta, en distancias de 450 a 580 metros, datos promedio de producción de 1.1 m³/h utilizando un arco maderero (“sulky”) y 0.39 m³/h utilizando un pipante, que es una especie de plataforma que disminuye la fricción con el suelo.

2.4 Consideraciones y regulaciones del uso de animales de trabajo.

Los animales representan una parte importante dentro de las actividades agroforestales en Costa Rica, estando presente tanto en las labores agrícolas como en labores forestales. Sin embargo, su utilización como método de arrastre, arar, tirar o cargar, etc, no siempre se ha visto regulada dentro de estos sistemas. Algunos conceptos y definiciones que regulan la utilización de animales dentro de las tareas de campo son las siguientes:

- Protección animal: concepto relacionado tanto a animales domésticos como a animales salvajes y tiene por objeto la protección de la fauna dentro de un concepto de conservación ambiental sin ningún fin de lucro (León-Guzmán, 2006).

- Bienestar animal: las nociones de bienestar animal tienen que ver con aquellos animales que representan una utilidad para el hombre, frecuentemente de naturaleza económica (León-Guzmán, 2006).
- Declaración sobre *Bienestar Animal*: Un animal está en buenas condiciones de bienestar si (según indican pruebas científicas) está sano, cómodo, bien alimentado, en seguridad, puede expresar formas innatas de comportamiento y si no padece sensaciones desagradables de dolor, miedo o desasosiego (Organización Mundial de Sanidad Animal, 2015).

Para el caso específico de Costa Rica existe una Ley de “Bienestar Animal”. La Ley de Bienestar de los Animales N.º 7451 data en Costa Rica desde 1994 (Asamblea Legislativa de Costa Rica, 2016) y establece en su Capítulo II, Artículo 3 las condiciones básicas para el bienestar de los animales de trabajo de la siguiente manera: “ a) *Satisfacción del hambre y la sed*; b) *Posibilidad de desenvolverse según sus patrones normales de comportamiento*.; c) *Muerte provocada sin dolor y, de ser posible, bajo supervisión profesional*; d) *Ausencia de malestar físico y dolor*; e) *Preservación y tratamiento de las enfermedades*”; así como el trato que se les debe dar a los mismos (Capítulo II, Artículo 6).

Existe además el Proyecto de Ley Expediente N.º 18.289 presentado ante la Asamblea Legislativa de Costa Rica en el año 2011 (Asamblea Legislativa de Costa Rica, 2016) y aprobado recientemente en Julio del 2016. Este Proyecto de Ley se enfoca principalmente en aumentar las sanciones y multas contra los que cometan algún acto de crueldad animal (Reformas al Artículo 21 de La Ley N.º 7451) y se añade expresamente un único inciso referido a animales de trabajo en Costa Rica: Artículo 21, inciso g) “*Emplee animales en el tiro de vehículos, carruajes y demás implementos de tiro que excedan notoriamente sus fuerzas, o los sobrecargue de peso, o los someta a jornadas de trabajo y esfuerzo excesivas sin darles descanso adecuado, o los fuerce a trabajar en estado de manifiesto deterioro físico, o presentando lesiones severas o enfermedades incapacitantes*”.

El uso bueyes y más recientemente búfalos de agua en labores de aprovechamiento forestal representan un método amigable con al ambiente, accesible para el pequeño productor pero sobretodo el método de extracción más viable en las plantaciones forestales actualmente activas en el sector nacional.

III. METODOLOGÍA.

3.1 Descripción del área de estudio.

Los datos de campo fueron recolectados en el año 2015 e inicios del 2016, durante el aprovechamiento de plantaciones forestales de melina (*Gmelina arborea*) pertenecientes a pequeños productores ubicados en la región Huetar Caribe, específicamente en la localidad de Sahara, distrito de Bataán del cantón de Matina en la provincia de Limón, Costa Rica.

La evaluación se realizó en 5 plantaciones forestales que se ubican alrededor de las coordenadas geográficas 10°05'09"N y 83°20'32"O. Las plantaciones se aprovecharon en forma total por una decisión económica de los propietarios y no por un análisis técnico de su crecimiento. Para cada sitio evaluado se elaboró una ficha técnica con los principales datos que pudieran incidir en la investigación (Anexo 1).

3.2 Evaluación técnica de la operación de arrastre utilizando búfalos de agua.

3.2.1 Diseño de muestreo:

Inicialmente al plantear la propuesta, se consideró el uso de 4 tratamientos basados en la pendiente del terreno y la distancia de arrastre; sin embargo, el cambio de sitio de las operaciones de aprovechamiento de una de las empresas colaboradoras, desde Bananito hasta San Carlos cambió la situación, por la dificultad y costo de transportar y mantener el animal.

Dado que las fincas de Bananito eran las que incorporaban al diseño el mayor rango de pendiente, se realizó un cambio en los tratamientos utilizando para la evaluación dos tipos de intervención silvicultural (raleo y tala rasa) y dos métodos de arrastre con el búfalo (cadena y “sulky”). Los datos fueron tomados en las fincas en las que se tenía acceso ilimitado pero cuya topografía es plana en su totalidad por lo que esta variable se eliminó del diseño de muestreo. Los sitios no presentaron variación en la pendiente del terreno, la cual era constante entre 0 y 5 % aproximadamente.

3.2.2 Determinación del ciclo productivo:

Por medio de la observación se determinaron los movimientos que componen el ciclo productivo de la etapa de arrastre realizada con búfalos de agua.

Como parte del análisis, los movimientos identificados fueron clasificados en movimientos productivos y movimientos improductivos o atrasos, con el objetivo de reconocer los movimientos propios del ciclo productivo de la etapa de arrastre utilizando búfalos de agua. Una vez identificados los movimientos necesarios para el arrastre de madera, cada uno de ellos fue descrito y caracterizado.

Además, para la toma de datos en esta primera fase se realizaron visitas al campo con el objetivo de caracterizar la etapa en evaluación. Se realizaron observaciones de las técnicas de arrastre así como del sistema tecnológico de aprovechamiento utilizado.

3.2.3 Determinación de la eficiencia y la producción:

Para determinar la eficiencia de la etapa de arrastre se realizó un estudio de tiempos y movimientos utilizando la metodología del muestreo propuesta por Cordero (1988), que establece realizar observaciones cada dos minutos con el fin de determinar la distribución porcentual del tiempo total de una jornada.

El cálculo de la eficiencia se realizó por medio de la siguiente fórmula:

$$\% E = \frac{\text{Tiempo productivo}}{\text{Tiempo programado}} \times 100, \text{ donde:}$$

Tiempo productivo: número de observaciones de movimientos productivos.

Tiempo programado: total de observaciones de la jornada de trabajo.

Para determinar la producción de la etapa de arrastre, se requiere conocer el volumen total arrastrado en la jornada y la duración de la misma. El cálculo de la producción se obtuvo de la siguiente forma:

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

Para determinar el volumen por día se cubicaron en el patio las trozas que fueron arrastradas en cada uno de los ciclos evaluados. Para este cálculo se empleó la fórmula de Smalian:

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

V = volumen en metros cúbicos.

d₁ = diámetro en metros medido en la cara mayor de la troza.

d₂ = diámetro en metros medido en la cara menor de la troza.

L = largo de la troza en metros.

El tiempo programado o duración de la jornada se obtuvo del estudio de tiempos y movimientos, mediante la diferencia de la hora inicial y la hora final de cada jornada evaluada.

La producción obtenida fue por jornada evaluada, además se trabajó con una producción promedio de todas las jornadas analizadas.

3.2.4 Análisis de los datos:

Se construyó una tabla en Excel con las variables de distancia de arrastre, número de fustes arrastrados, duración total de la jornada, duración efectiva de la jornada, volumen, eficiencia y producción (efectiva y programada), de manera que se buscara la correlación entre ellas, logrando una ecuación con el ajuste adecuado. Se creó una tabla que incluyó cada uno de los ciclos de producción y una tabla con las jornadas evaluadas, siempre separando los resultados por tratamiento silvicultural aplicado.

Por medio de gráficos de dispersión entre variables, fueron localizados y corregidos puntos atípicos de manera que se obtuviera una base de datos depurada. Los gráficos fueron analizados con el objetivo de observar el comportamiento de las variables tratando de identificar alguna curva que guiara la creación y escogencia de uno o varios modelos.

La correlación de las variables se verificó por medio de un diagrama de dispersión en el que cada punto trazado representó un par de valores observados por las variables independiente y dependiente. El valor de la variable independiente “X”, fue trazado en relación con el eje horizontal y el valor de la variable dependiente “Y”, en relación con el eje vertical (Jiménez, 2012). La relación que muestren las variables podrá ser una relación Lineal positiva, lineal negativa o no lineal entre otras.

Para el caso de las correlaciones Lineales, las variables son analizadas con el coeficiente de Person, mientras que si se presenta una correlación No Lineal, son analizadas con el coeficiente de Sperman; en ambos casos se recurrió al programa SPSS Statistics Base.

Además de la correlación, fueron estudiados los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (ANDEVA).

Los datos fueron analizados por medio de una prueba de Shapiro-Wilks modificado para verificar su normalidad, se plantearon dos hipótesis: H_0 : los datos siguen una distribución normal y H_a : los datos no siguen una distribución normal. Si los datos siguen una distribución normal se emplea estadística paramétrica, de lo contrario se considera la estadística no paramétrica, para el análisis estadístico en esta etapa se recurrió al programa Infostat con un 95% de confianza ($\alpha = 0,05$).

Para probar la homogeneidad de las varianzas de cada una de las variables se recurrió a un Análisis de Varianza (ANDEVA), el cual buscó probar las siguientes hipótesis: H_0 : las varianzas de los datos son iguales y H_a : las varianzas de los datos son diferentes.

Se verificó por medio de pruebas estadísticas si existía o no diferencias entre: a) tratamiento silvicultural aplicado y b) método de arrastre utilizado.

3.2.5 Predicción de la producción en arrastre:

Para contar con uno o varios modelos de regresión que permitieran estimar la producción en arrastre se utilizó la metodología propuesta por Hughell (1990).

Se buscó la generación de un modelo utilizando los promedios de los datos obtenidos en cada una de las jornadas evaluadas en campo y para cada uno de los tratamientos silviculturales aplicados dentro de las fincas. Para lograr la validación de el/los modelos, desde un inicio se trabajó únicamente con un 75% de los datos obtenidos en cada uno de los tratamientos silviculturales aplicados, es decir, se separó un 25% de los datos correspondiente a 5 jornadas en el caso del raleo y 10 jornadas en tala rasa, para realizar la validación.

Las ecuaciones de mejor ajuste fueron analizadas de manera que los posibles modelos de regresión consideraran las variables cuantitativas. Para medir la calidad del ajuste del modelo escogido se consideraron variables como el coeficiente de variación, el coeficiente de determinación R^2 y el coeficiente de determinación ajustado entre otras.

Una vez generados y escogidos los modelos, se procedió a verificar los supuestos más importantes de la regresión: la normalidad de los residuos y la varianza constante de cada

una de las variables, buscando probar las mismas hipótesis descritas anteriormente (Análisis de datos).

Finalmente se validó cada uno de los modelos construidos. Según Arango, Rivera y Granobles (2000), la validación es la aprobación, a través de procedimientos estadísticos adecuados, de un nivel aceptable de confianza, de tal modo que las interpretaciones para el sistema real efectuadas a partir de las inferencias obtenidas con el modelo de simulación, sean correctas; en otras palabras, es el proceso para determinar si un modelo de regresión verdaderamente representa de uno u otro modo la realidad.

Para este punto se utilizó la fórmula del % de sesgo que establece que su resultado debe de encontrarse en un intervalo de +- 2% (Jiménez, 2012). La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\% \text{Sesgo} = \frac{\Sigma(\text{Valores Observados} - \text{Valores Estimados})}{\Sigma \text{Valores Observados}} * 100$$

Además se realizó una prueba de Wilcoxon mediante el programa Infostat de manera que se lograra verificar las siguientes hipótesis: H_0 : la Σ de los valores observados es igual a la Σ de los valores estimados y H_a : la Σ de los valores observados es diferente a la Σ de los valores estimados.

Durante el proceso de validación deben tomarse en cuenta los siguientes aspectos (Alder, 1980):

- Los modelos de predicción se aproximarán más a la realidad a medida que se incrementen los esfuerzos en la recolección de datos y en la construcción del propio modelo.
- En algún momento, el esfuerzo involucrado para obtener más datos o para crear un modelo estadísticamente más sólido es más costoso que, la mejora marginal garantizada por las predicciones del modelo.
- Los modelos forestales no tienen un grado uniforme de error sobre el intervalo completo del comportamiento que predicen pero pueden ser más o menos precisos en diferentes intervalos de las variables que predicen.

Se eligieron los modelos que predijeron de forma más confiable los datos de producción en cada uno de los tratamientos silviculturales, tanto para los datos obtenidos durante el raleo como para los datos obtenidos durante la tala rasa.

3.3 Evaluación del impacto de la operación.

3.3.1 Impacto en los árboles remanentes:

Se cuantificó el impacto causado a los árboles remanentes ubicados a lo largo de todas las pistas de arrastre mediante un conteo. En cada una de los sitios evaluados en los que se aplicó el raleo se realizó un estudio de daños en árboles contabilizando y observando cada uno de

los árboles remanentes dentro de cada una de las pistas de saca. Las observaciones se clasificaron según las siguientes categorías:

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
A	Árbol sin daño visible en su corteza y raíces.
B	Árbol con daño visible en la corteza, presenta remoción de la misma en placas que representan un área de 10 x 10 cm mínimo.
C	Árbol muy dañado, la corteza se aprecia desprendida en placas o tiras que representan un área de 20 x 20 cm.

Fuente: Modificado de Cordero y Meza, 1992

Posterior al conteo y la observación, se calculó un porcentaje según la categoría de daños con el objetivo de identificar cual fue la categoría en la que presentó mayor cantidad de árboles.

3.3.2 Impacto en el suelo:

a) *Disturbio del suelo:*

Para evaluar el impacto en el suelo se empleó la metodología propuesta por Cordero y Meza (1992) con algunas modificaciones. En cada una de las fincas aprovechadas se establecieron, de manera perpendicular al carril madre o pista de arrastre principal, una serie de transeptos o líneas paralelas entre sí sobre las cuales se realizaron las observaciones. Estos transeptos se ubicaron en el área aprovechada en cada una de las fincas posterior a la finalización de la operación de arrastre, en forma sistemática de manera que se cubriera el área total.

Los transeptos se establecieron cada 50 metros sobre el carril madre, y en cada uno de ellos se realizaron observaciones puntuales cada 15 metros. Las observaciones se basaron en la siguiente clasificación:

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
A	Suelo sin disturbio. No se aprecia ningún rastro de alteración por efecto del arrastre.
B	Suelo algo disturbado. Presencia de ramas u hojarasca removida levemente por el paso del búfalo.
C	Suelo disturbado. Se aprecia una alteración de la capa superficial del suelo producto del paso del búfalo o la carga.
D	Suelo muy disturbado. El suelo se presenta con una alteración severa, el horizonte A del suelo se encuentra expuesto y se aprecian signos de compactación.

Fuente: Modificado de Cordero y Meza, 1992

b) Compactación del suelo:

Se utilizó la compactación del suelo medida mediante la densidad aparente como un parámetro indicador de impacto en este recurso.

Se recolectaron muestras al inicio, en el medio y al final de las pistas de extracción por donde el búfalo circuló con los fustes de la plantación, así mismo, se tomó una muestra de un área no disturbada (testigo) justamente al lado de cada muestra tomada en la pista.

Las muestras fueron recolectadas utilizando el método del cilindro, para este método se utilizó un barreno que consta de un cilindro metálico en su extremo inferior en cuyo interior alberga un cilindro removible, para esta investigación se utilizaron dos cilindros removibles cuyo volumen interno fue de aproximadamente 100 cm³. Una vez extraído el barreno del suelo se retira el cilindro interior y se prepara la muestra cortando cuidadosamente con un cuchillo el suelo excedente por encima y por debajo del cilindro. Cuando ya no quedaban excedentes en el cilindro, el suelo fue colocado en bolsas de plástico de manera que se pudiera proseguir con la siguiente muestra.

Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Suelos de la Escuela de Ingeniería Forestal del TEC en donde fueron expuestas a una temperatura de 105°C hasta llegar a un peso constante. Para calcular la densidad aparente (DAP) de cada muestra se empleó la siguiente fórmula:

$$DAP \frac{gr}{cm^3} = \frac{Peso\ suelo\ seco\ (gr) * 100}{Volumen\ del\ cilindro\ (cm^3)}$$

Los datos de densidad aparente del suelo obtenidos en los sitios disturbados y los no disturbados fueron analizados mediante una comparación de medias para determinar si existe o no diferencia significativa.

3.3.3 Área afectada por construcción de pistas y patios:

Mediante la utilización de un GPS, se realizó un levantamiento topográfico de todos los caminos principales y secundarios, en cada una de las fincas, utilizados durante el aprovechamiento forestal para extraer la madera. Los patios de carga no se contabilizan pues se usó el terreno aledaño a la calle pública. Los datos se comparan con lo estipulado en la legislación.

3.4 Determinación de los costos de la operación.

Durante la evaluación de la operación de arrastre se registraron todos los aditamentos, equipo e insumos necesarios para realizar la labor. Se realizaron consultas en los comercios de la zona y con propietarios de búfalos para determinar los datos necesarios para la determinación de los costos de producción de la operación de arrastre.

3.5 Promoción del uso de búfalos de agua en arrastre de madera de plantaciones.

3.5.1 Elaboración de material divulgativo:

a) Desplegable:

Con base en la información recopilada y generada durante el desarrollo de este proyecto se procedió a diseñar y elaborar un desplegable para su distribución entre los usuarios interesados. El contenido fue analizado para divulgar la información técnica en un lenguaje adecuado para la comprensión de diferente tipo de usuario, desde productores hasta profesionales.

b) Manual para ejecutar arrastre de madera de plantaciones con búfalo de agua:

Se elaboró un manual técnico con los detalles de la cría, manejo, entrenamiento y uso del búfalo para realizar el arrastre en plantaciones forestales. Se inició con una revisión y clasificación de literatura que fuera de interés, posteriormente se creó un índice que contuviera los aspectos necesarios para el adiestramiento y manejo de búfalos de agua en labores de arrastre de madera en plantaciones forestales, sobre el cual se desarrollaría el manual. Una vez preparado el borrador inicial del manual se procedió a su revisión, selección de fotografías y edición final.

3.5.2 Planificación y ejecución de un día de campo demostrativo:

Se planificó y se ejecutó un día de campo demostrativo, organizado en conjunto con la Asociación para el Desarrollo Sostenible de la Región Atlántica (ASIREA). Se prepararon las invitaciones, se distribuyeron, se coordinaron el transporte y la alimentación, se prepararon el guion y el sitio para la ejecución.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1 Descripción del sitio de muestreo.

Las 5 fincas en que se ubican los rodales en los que se recolectó la información fueron denominadas F-I, F-II, F-III, F-IV y F-V. Las plantaciones evaluadas tenían una edad entre 5 y 8 años y se ubican en una zona de alta precipitación, topografía plana y suelos arcillosos, lo que conlleva a una condición de alta humedad en el suelo con anegación en algunas zonas. Según datos del Instituto Meteorológico Nacional (2015), la provincia de Limón presenta una temperatura media anual de 25,86°C y una precipitación media anual de 298,25 mm, siendo el mes de setiembre el más seco (142 mm) y el de diciembre el más lluvioso (443 mm).

El diámetro promedio de las plantaciones aprovechadas fue de 25.27 cm, la altura total promedio registrada fue de 15.51 m y la altura comercial 10.98 m, para un volumen promedio por fuste arrastrado de 0.291 m³.

Las cinco fincas en las que se trabajó fueron utilizadas, antes de ser reforestadas, para el cultivo de banano, lo que explica la presencia de canales de drenajes primarios y secundarios dentro de las plantaciones. La figura 1 muestra la ubicación de las mismas.

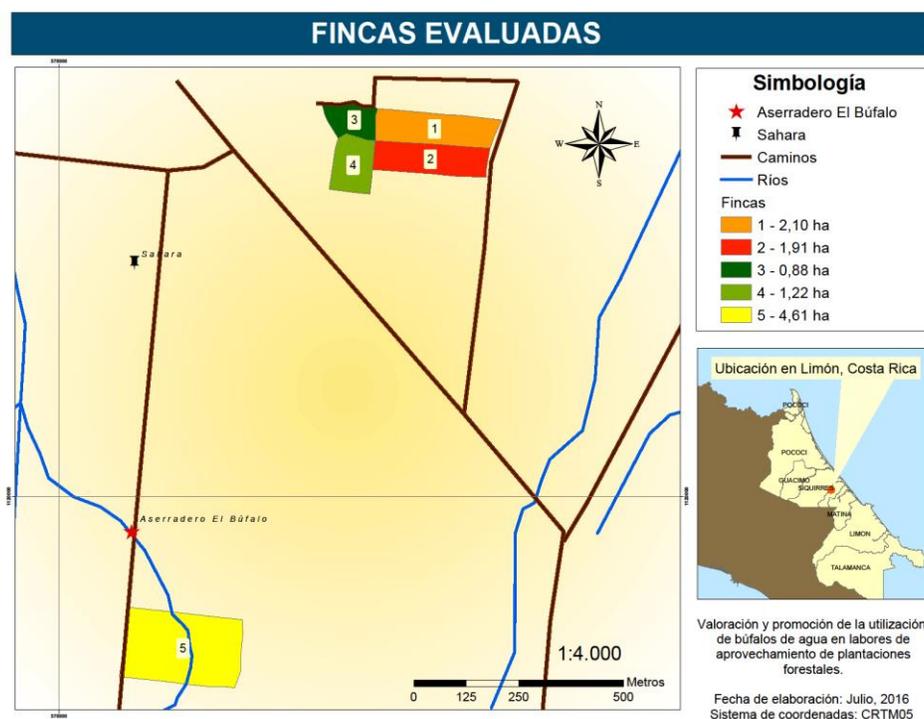


Figura 1. Localización de las fincas evaluadas. Bataán, Limón, Costa Rica. 2016.

4.2 Ciclo de producción del arrastre de madera de plantaciones utilizando búfalo de agua.

4.2.1 Métodos de arrastre.

Tanto en las plantaciones que se aplicó raleo como en las que se aplicó tala rasa, se realizaron observaciones sobre la técnica que utilizaron los “bufaleros” para arrastrar la madera desde la plantación hasta un patio de acopio o bien el patio final de carga, determinando los movimientos necesarios para realizar esta labor, así como las mejoras que podrían realizarse en el proceso.

La operación de arrastre de madera al momento de la evaluación fue realizada mediante dos métodos: método de cadenas (Figura 2) y utilizando el “sulky” (Figura 3).

El primer método es el más común por su facilidad y simplicidad, consistió en el arrastre de la madera amarrando los fustes con una cadena o mecate, el cual se sujeta al balancín que lleva el búfalo; con este método los fustes van siempre y casi en su totalidad, en contacto con el suelo creando una fricción que genera una resistencia al arrastre.



Figura 2. Arrastre de fustes de plantaciones forestales utilizando búfalos de agua con el método de cadena. Limón, Costa Rica. 2016.

El segundo método de arrastre utiliza un arco maderero denominado “sulky”, el cual se adapta al búfalo; este arco permite elevar la parte frontal del fuste o troza disminuyendo la fricción de la parte frontal de la carga y por tanto disminuyendo la resistencia al arrastre y facilitando la operación. Con la utilización del “sulky” el animal es capaz de arrastrar mayores distancias que con el método de cadena y llevar un mayor volumen en cada ciclo.



Figura 3. Arrastre de fustes de plantaciones forestales utilizando búfalos de agua con el método del “sulky”. Limón, Costa Rica. 2016.

El método más utilizado fue el de las cadenas, seguido del “sulky”. El cuadro 1 muestra las ventajas y desventajas del uso de cada uno de estos métodos de arrastre.

Cuadro 1. Diferencias determinadas entre los métodos utilizados para el arrastre con búfalos de agua en un aprovechamiento de plantaciones forestales. Limón, Costa Rica. 2016.

Método de arrastre	Ventajas de uso	Desventajas de uso
Cadenas	Fácil de utilizar.	Sólo puede arrastrar 1 o 2 fustes.
	Método simple	Se dificulta amarrar el fuste.
	Bajo costo.	Posible mayor impacto en el suelo.
“Sulky”	Elimina la fricción entre la troza y el suelo.	No se puede utilizar en suelos con condiciones muy lodosas.
	Permite arrastrar fustes en largas distancias.	Mayor costo de adquisición que las cadenas.
	Permite arrastrar mayor volumen por ciclo.	Requiere que la troza esté levantada en la cara que se amarrará.

4.2.2 Definición del ciclo productivo.

Los movimientos observados durante la etapa de arrastre con los métodos descritos anteriormente, fueron clasificados en movimientos productivos y movimientos improductivos o atrasos, de manera que la suma de ellos conforma el ciclo productivo del arrastre de madera con búfalos de agua.

El formulario creado luego de la observación (Anexo 2) fue utilizado tanto para el tratamiento de raleo como para el tratamiento de tala rasa y los movimientos seleccionados fueron utilizados para la evaluación técnica de los búfalos de agua que fue realizada empleando la metodología de Tiempos y Movimientos propuesta por Cordero (1988) y descrita en el capítulo anterior.

El arrastre es la segunda de cinco etapas básicas que componen el sistema de aprovechamiento de madera reforestada (corta, arrastre, troceo, carga y transporte). En la etapa de arrastre existen además, una serie de operaciones o movimientos productivos, que son los que interactúan para lograr el objetivo con buenos rendimientos y bajos costos de producción.

Cuando el método de arrastre es con cadena, el ciclo del arrastre con búfalos está compuesto por los siguientes movimientos productivos: “viaje vacío”, “amarre de la carga”, “viaje cargado” y por último “soltar la carga”, además de los movimientos improductivos mencionados en el Anexo 2.

Cuando el arrastre se realiza utilizando el “sulky”, se adiciona un movimiento que es necesario para colocar el arco en una posición que facilite el amarre de los fustes, este movimiento se ha denominado “acomodo del sulky”.

El esquema siguiente muestra los movimientos productivos, que junto con los tiempos muertos o atrasos conforman el ciclo de arrastre.

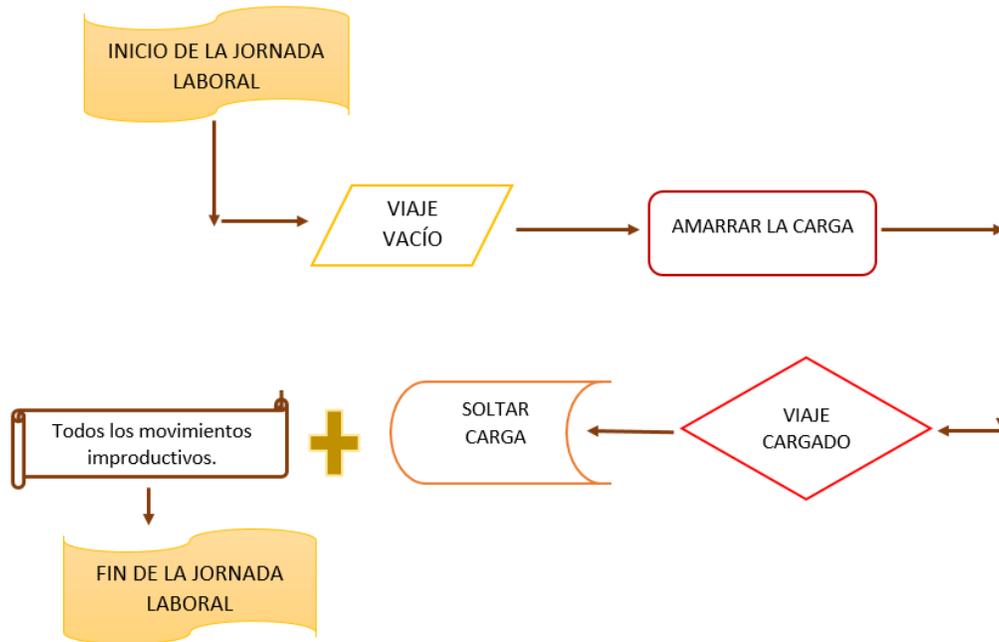


Figura 4. Ciclo de producción típico del arrastre de madera utilizando búfalos de agua en plantaciones forestales. Bataán, Limón, Costa Rica. 2016.

4.2.3 Descripción de los movimientos productivos.

a) *Viaje vacío:*

El segundo movimiento del ciclo productivo es el “viaje vacío”, que es el desplazamiento del búfalo desde el patio de carga hasta el sitio de corta de los árboles dentro de la plantación sin ninguna carga, como se muestra en la figura 5.



Figura 5. Viaje vacío de la operación de arrastre con búfalos en un aprovechamiento de plantaciones forestales. Limón, Costa Rica. 2016.

b) Amarre de la carga:

Cuando el búfalo llega a la base del árbol cortado o bien al patio de acopio donde recogerá el fuste o la troza, se procede a realizar el “amarre de la carga”. El fuste puede amarrarse con una cadena acerada o bien con un mecate de cabuya (Figura 6). Cuando se realiza el arrastre con el método de “cadena”, este movimiento presenta un alto grado de dificultad cuando el fuste se encuentra completamente apoyado sobre el suelo, lo que impide el paso de la cadena o el mecate alrededor del mismo.



Figura 6. Amarre de trozas utilizando a) Cadenas y b) “sulky” en un aprovechamiento de plantaciones forestales. Limón, Costa Rica. 2016.

En la observación realizada con el método de arrastre utilizando el “sulky”, el movimiento de “amarre” puede ser también de alta dificultad si el fuste está completamente apoyado en el suelo, pero si se ha realizado un pre-arrastre y los fustes se han colocado con una de sus caras un poco elevada del suelo, el movimiento es mucho más fácil.

c) Viaje cargado:

Ya sea con cadena o con “sulky”, una vez amarrados los fustes (uno o dos), el búfalo inicia el “viaje cargado” arrastrando la carga hasta un patio de acopio o carga.

La evaluación inicial del ciclo productivo del arrastre permitió determinar evidencias de malas prácticas de cosecha que dificultaron esta operación; el principal problema se presentó por la mala ejecución de la corta de los árboles, que en pocas ocasiones se realizó de manera dirigida; esto hace que los árboles caigan en cualquier dirección, lo que por un lado dificulta la extracción de los fustes en una forma directa, teniendo que realizarse más maniobras con el búfalo para dirigir el fuste en la dirección adecuada; por otra parte, en muchas ocasiones la forma en que cae el árbol obliga a sujetar el fuste por la cara menor (Figura 7), dificultando la tarea del búfalo, ya que el mayor peso de la carga queda ubicado a una mayor distancia del animal.

El movimiento “viaje cargado” fue el que consumió más porcentaje de tiempo de la jornada, ya que es el movimiento en que el búfalo camina más lentamente por la carga que traslada. Cuando se trabajó en el tratamiento de raleo, la duración fue mayor, ya que el bufalero debe procurar que tanto el animal como la carga no dañen los árboles remanentes, lo que hace que el movimiento sea más lento.



Figura 7. Viaje cargado con cadena y con sulky utilizando búfalo de agua en un aprovechamiento de plantaciones forestales. Limón. 2016.

d) *Soltar la carga:*

El último movimiento del ciclo productivo del arrastre con búfalo es “soltar la carga” cuando este ha llegado al patio de acopio o carga y se refiere a desamarrar el fuste de la cadena o del mecate utilizado para el arrastre.

A diferencia del anterior, es el movimiento productivo que menos tiempo consume del total de la jornada, pues la acción de “soltar” se limita a quitar el nudo de las cadenas o del “sulky” y dejar caer la troza en el patio. Es un movimiento que con el tiempo llega a ser constante en todos los ciclos.

4.2.4 Distribución del tiempo de la jornada promedio de arrastre.

Se recolectaron datos de dos tratamientos silviculturales: el raleo y tala rasa. El primer tratamiento fue aplicado en las Finca I, II, III y IV. Posterior al primer año de haber iniciado con los raleos, por decisión de los propietarios de la madera, se procedió a aprovechar la totalidad de la madera que había en cada una de las fincas con la excepción de la finca II. Así se inició el tratamiento de tala rasa en la Finca I, III, IV y se incluyó además la Finca V que no había sido considerada dentro del tratamiento de raleo (ver cuadro 2). Por esta razón, los resultados obtenidos fueron analizados por separado para cada uno de los tratamientos silviculturales. Según los datos que muestra el cuadro 4, para el tratamiento 1 (raleo) se muestrearon un total de 20 jornadas y para el tratamiento 2 (tala rasa) 40 jornadas, en ambos casos se muestrearon la suficiente cantidad de ciclos para realizar los análisis estadísticos.

Cuadro 2. Jornadas y ciclos evaluados por finca en cada uno de los tratamientos durante la operación de arrastre con búfalos de agua en un aprovechamiento de plantaciones forestales. Limón, Costa Rica. 2016.

Tratamiento silvicultural	Finca evaluada	Método de arrastre	Número de jornadas evaluadas	Número de ciclos evaluados
RALEO	Finca I	Cadenas Sulky	10	261
	Finca II	Cadenas Sulky	7	193
	Finca III	Cadenas Sulky	2	52
	Finca IV	Cadenas Sulky	1	21
TALA RASA	Finca I	Cadenas	3	48
		Sulky	3	65
	Finca III	Cadenas Sulky	3	50
	Finca IV	Cadenas Sulky	8	142
	Finca V	Cadenas Sulky	12 11	251 125

El Cuadro 3 muestra la distribución del tiempo promedio de arrastre de la jornada para cada tratamiento silvicultural, utilizando el método de cadena.

Los movimientos productivos muestran un comportamiento normal, donde el “viaje cargado” consume la mayor parte del tiempo en ambos tratamientos (20.08 y 19.61 %), ya que es cuando el búfalo camina más lentamente debido a la carga que transporta. El segundo movimiento en consumo de tiempo es el “viaje vacío” (17.48 y 17.53 %). A pesar de que los movimientos “amarre” y “soltar” presentan pequeñas diferencias entre tratamientos, esta diferencia no puede ser achacada al mismo, ya que la operación es prácticamente la misma, sea raleo o tala rasa; la diferencia se debe a situaciones fortuitas de la posición de los fustes que implicaron mayor o menor tiempo. En términos generales la duración de estos dos movimientos llega a ser constantes en una operación de aprovechamiento.

Cuadro 3. Distribución promedio del tiempo en una jornada de arrastre con búfalo de agua utilizando el método de arrastre con cadena. Limón, Costa Rica. 2016.

Movimientos del sistema	Tratamiento silvicultural: RALEO		Tratamiento silvicultural: TALA RASA	
	Duración (horas)	Porcentaje (%)	Duración (horas)	Porcentaje (%)
Movimientos Productivos				
Viaje vacío	1,31	17,48	1,08	17,53
Amarre	0,89	11,92	0,54	8,86
Viaje cargado	1,50	20,08	1,20	19,61
Soltar	0,61	8,17	0,43	6,92
Total movimientos productivos	4,31	57,65	3,25	52,93
Movimientos improductivos				
Descanso de los búfalos	0,09	1,25	0,11	1,86
Descanso del Bufalero	0,27	3,54	0,29	4,77
Elevar carga	0,07	0,98	0,07	1,16
Acomodar patio	0,22	2,97	0,29	4,77
Desrame o troceo	0,05	0,72	0,04	0,68
Esperar	0,02	0,30	0,26	4,31
Limpiar pista	0,01	0,19	0,03	0,48
Colocar aditamentos al búfalo	0,38	5,09	0,35	5,62
Alimentación	2,04	27,27	1,38	22,46
Carga pegada	0,00	0,04	0,06	0,95
Total atrasos	3,17	42,35	2,89	47,07
TOTAL	7,48	100,00	6,14	100,00

El movimiento improductivo que consume mayor porcentaje de tiempo en ambos tratamientos es el denominado “alimentación” (27.27 y 22.46 %). En realidad este tiempo corresponde al lapso de descanso que se le brinda al búfalo para evitar su fatiga en las horas más calientes del día. El movimiento fue denominado “alimentación” ya que en ese tiempo el “bufalero” toma su almuerzo, aunque luego realiza otras labores como corta, limpieza de pistas, picar alimento para el búfalo, etc.

Como consecuencia del atraso mencionado anteriormente, surge otro movimiento improductivo, ya que los aditamentos de trabajo del búfalo se colocan en la mañana y se quitan al iniciar el período de descanso, siendo necesario volverlos a colocar al reiniciar la jornada de trabajo; este porcentaje se considera muy alto (5.09 y 5.62 %), por lo que en futuras investigaciones deben realizarse acciones para buscar su reducción.

Destacan también en ambos tratamientos el movimiento “descanso del bufalero” (3.54 y 4.77 %), que es típico del sistema de aprovechamiento utilizado, compuesto por una cuadrilla de una sola persona, que debe realizar todas las labores colaterales que se presentan en el arrastre

y por tanto sufre un desgaste adicional. Si la cuadrilla cambia a dos personas, este atraso disminuiría considerablemente.

El atraso “acomodar patio” (2.97 y 4.77 %) obedece al trabajo de acomodar los fustes en el patio de carga utilizando el búfalo, situación que podría mejorar si el patio fuera más amplio o bien se utilizara otra tecnología para realizar esta labor.

El atraso denominado “esperar”, es más alto en el tratamiento “tala rasa” (4.31 %), sin embargo esto no implica que su aparición sea específica de este tratamiento, la razón de que en el tratamiento raleo no sea tan alto es meramente circunstancial. Este atraso obedece, además de lo señalado antes de conformación de la cuadrilla, a malas condiciones de infraestructura de algunos de los lotes evaluados, específicamente la posibilidad de utilizar un patio de carga amplio y adecuado a la producción diaria, esto lo presentaron principalmente las Fincas I y III.

Los demás atrasos que se presentan no son individualmente importantes en cuanto a duración, sin embargo podrían ser eliminados con acciones sencillas de mejora en el sistema de trabajo, por ejemplo la “limpieza de la pista” y “desrame o troceo” son labores que no corresponden a la operación de arrastre.

El Cuadro 4 presenta los resultados obtenidos de la distribución del tiempo promedio de la jornada de arrastre utilizando el método de “sulky” para el tratamiento de tala rasa. No se pudo utilizar el “sulky” en el raleo por la dificultad de movimiento causada por el tipo de terreno (antiguas bananeras), los raleos realizados anteriormente y el diseño mismo de la plantación original.

En el tratamiento de tala rasa los movimientos “viaje cargado” y “viaje vacío” tienen un comportamiento similar al método de cadena, consumen la mayoría del tiempo de la jornada (18.16 y 15.72 %).

En cuanto a los atrasos, también hay un comportamiento similar, siendo los principales “alimentación” (26.91%), “colocar aditamentos” (5.83 %), “acomodar sulky” (5.08 %), “descanso del bufalero” (4.64 %) y “acomodo del patio” (3.89 %); sin embargo el valor del atraso “elevar la carga” tiene un aumento importante (3.39 %) con relación al método de cadena, esto se debe a que precisamente el uso del “sulky” requiere que la carga sea elevada para sujetarla y obtener los beneficios de su uso, lo que no se hace con el método de cadena.

Los demás atrasos tienen valores similares al método de cadena y su disminución o eliminación también es posible con las mismas acciones señaladas anteriormente.

Cuadro 4. Distribución promedio del tiempo en una jornada de arrastre con búfalo de agua utilizando el método de Sulky. Limón, Costa Rica. 2016.

Movimientos del sistema	Duración promedio de la jornada (horas)	Porcentaje promedio (%)
Movimientos Productivos		
Viaje vacío	1,19	15,72
Amarre	0,48	6,27
Viaje cargado	1,38	18,16
Soltar	0,39	5,14
Total movimientos productivos	3,44	45,29
Movimientos improductivos		
Descanso de los búfalos	0,10	1,29
Descanso del Bufalero	0,35	4,64
Elevar carga	0,26	3,39
Acomodar patio	0,30	3,89
Desrame o troceo	0,04	0,53
Esperar	0,17	2,20
Limpiar pista	0,01	0,13
Colocar aditamentos al búfalo	0,44	5,83
Acomodo del Sulky	0,39	5,08
Alimentación	2,04	26,91
Carga pegada	0,06	0,82
Total atrasos	4,15	54,71
TOTAL	7,59	100

La diferencia en la distribución del tiempo entre la utilización del método de arrastre con cadena y el del “sulky” se debe a que los atrasos “elevar la carga” y “acomodo del sulky” consumen un poco más de tiempo en razón del método de arrastre utilizado.

La espera causada por limitaciones de patios se presentó por el cambio repentino en la intensidad de cosecha que hicieron los propietarios, pasando de estar raleando la plantación a la decisión de realizar la corta final en menos de un año, esto se presentó por la disponibilidad de una “ventana de mercado” temporal muy atractiva. Esto hizo que la cantidad de madera en patio aumentara considerablemente y siendo las posibilidades de expansión mínimas, se empezaron a presentar atrasos por “espera” para liberar espacio en el patio.

4.2.5 Eficiencia y producción del arrastre con búfalos de agua.

El cuadro 5 muestra un resumen de los resultados de las variables de interés de la evaluación para ambos tratamientos. Los valores de eficiencia y producción muestran valores muy similares para ambos tratamientos en todas las fincas.

Cuadro 5. Resumen promedio de los valores de las variables de interés al evaluar la operación de arrastre con búfalos de agua en un aprovechamiento de plantaciones forestales. Limón, Costa Rica. 2016.

Tratamiento silvicultural	Finca	Fustes arrastrados	Distancia de arrastre	Eficiencia (%)	Duración total de la jornada (h)	Duración efectiva de la jornada (h)	Volumen por jornada (m ³)	Producción (m ³ /h.prog)	Producción (m ³ /h.efec)
RALEO	I	28	118,57	58,03	6,97	3,74	7,40	1,15	2,01
	II	29	113,68	58,19	7,16	3,86	7,72	1,16	2,02
	III	30	90,82	58,19	7,11	3,86	7,66	1,18	2,04
	IV	42	102,14	57,42	8,53	4,90	8,19	0,96	1,67
TALA RASA	I	29	105,37	58,50	6,87	3,71	7,63	1,20	2,07
	III	28	86,27	57,36	6,97	3,67	7,98	1,24	2,20
	IV	27	148,56	60,46	7,35	4,14	7,04	1,05	1,72
	V	26	137,75	56,79	7,03	3,68	7,26	1,12	2,01

La similitud en los valores de eficiencia señala una operación consolidada, es decir, que no hay muchas formas de realizarla y por tanto sus movimientos tienden a ser constantes.

Los valores de eficiencia obtenidos son muy similares a los obtenidos por Villalobos-Barquero y Meza-Montoya (2016) para una yunta de bueyes (59,72 %) y son relativamente bajos si se comparan con el valor determinado por FAO (1995) para un tractor de oruga (65 %); sin embargo se considera que los valores de la eficiencia para el búfalo en arrastre podrían mejorar fácilmente si se realizan acciones muy sencillas que permitirían aumentar los movimientos productivos, en algunos casos las acciones podrán ser correctivas como por ejemplo hacer bien el desrame en el momento de la corta o limpiar previamente las pistas principales de arrastre; en otros casos las acciones más bien corresponden a mejoras en la planificación de la labor, por ejemplo, mejorar la ubicación y el área de patios.

La producción fue evaluada para determinar si existía alguna diferencia estadística entre los tratamientos silviculturales raleo y tala rasa y entre los métodos de arrastre con cadena y con “sulky”.

a) *Tratamiento silvicultural:*

Se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilks; con la cual se obtuvo un *p-value* de 0,0061 indicando que se rechaza la H_0 , lo que señala que los datos no siguen una distribución normal, respondiendo a la alta variabilidad que muestran las variables.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Producción	60	2,01	0,59	0,93	0,0061

Figura 8. Prueba de normalidad para los datos de Producción (m³/hora) obtenida en cada una de las 5 fincas evaluadas durante el arrastre de madera de plantaciones forestales con búfalo de agua, Limón, Costa Rica. 2016

Para verificar la homogeneidad de varianzas se aplicó una prueba de ANDEVA obteniendo un *p-value* de 0,0096 lo que indica que las varianzas son diferentes.

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Producción	60	0,29	0,19	26,19

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5,87	7	0,84	3,03	0,0096
Finca Evaluada	5,87	7	0,84	3,03	0,0096
Error	14,41	52	0,28		
Total	20,28	59			

Figura 9. Análisis de varianza ANDEVA para los datos de Producción (m³/hora) obtenida en cada una de las 5 fincas evaluadas durante el arrastre de madera de plantaciones forestales con búfalo de agua, Limón, Costa Rica. 2016

Conociendo ambos resultados se recurre a la estadística no paramétrica, evitando trabajar con datos transformados. Se realizó una prueba de Kruskal-Wallis coincidiendo con los resultados obtenidos en el ANDEVA; el *p-value* fue de 0,0212, sugiriendo que no existe diferencia entre las fincas evaluadas.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Finca Evaluada	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Producción	Finca I	10	1,56	0,40	1,53	16,46	0,0212
Producción	Finca I TR	6	2,21	0,53	2,06		
Producción	Finca II	7	1,78	0,66	1,79		
Producción	Finca III	2	1,77	0,40	1,77		
Producción	Finca III TR	3	2,05	0,13	2,04		
Producción	Finca IV	1	1,67	0,00	1,67		
Producción	Finca IV TR	8	1,76	0,17	1,77		
Producción	Finca V	23	2,34	0,62	2,22		

Figura 10. Prueba Kruskal Wallis para los datos de Producción (m³/hora) obtenida en cada una de las 5 fincas evaluadas durante el arrastre de madera de plantaciones forestales con búfalo de agua, Limón, Costa Rica. 2016

Como último paso se corrió una prueba de Bonferroni (Figura 11) (equivalente a la prueba de Tukey en estadística paramétrica) con el objetivo de identificar entre cuales de las fincas existía diferencia.

```

Test:Bonferroni Alfa=0,05 DMS=1,08479
Error: 0,2771 gl: 52
Fincas evaluadas Medias n E.E.
I Raleo 1,56 10 0,17 A
IV Raleo 1,67 1 0,53 A B
IV Tala rasa 1,76 8 0,19 A B
III Raleo 1,77 2 0,37 A B
II Raleo 1,78 7 0,20 A B
III Tala rasa 2,05 3 0,30 A B
I Tala rasa 2,21 6 0,21 A B
V Tala rasa 2,34 23 0,11 B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

```

Figura 11. Prueba de Bonferroni para los datos de Producción (m³/hora) obtenida en cada una de las 5 fincas evaluadas durante el arrastre de madera de plantaciones forestales con búfalo de agua, Limón, Costa Rica. 2016

Se observa que la Finca V (tala rasa) y la Finca I (raleo) fueron en las que se presentó menor y mayor producción (m³/hora) respectivamente. Por otro lado los datos de las medias sugieren la formación de dos grupos con características de producción similares: las fincas en las que se aplicó raleo y las fincas en las que se ejecutó la tala rasa, siendo mayores los datos de producción con el segundo tratamiento silvicultural.

b) Método de arrastre:

Para determinar si existía diferencia o no entre el arrastre con sulky y el arrastre de madera con cadenas se inició el análisis aplicando una la prueba de normalidad, obteniendo un *p-value* de 0,4400 indicando que se acepta la H₀, lo que señala que los datos siguen una distribución normal.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Producción	41	2,09	0,68	0,96	0,4400

Figura 12. Prueba de normalidad para los datos de Producción (m³/hora) obtenida en cada una de las 5 fincas evaluadas durante el arrastre de madera de plantaciones forestales con búfalo de agua, Limón, Costa Rica. 2016

Considerando que existen únicamente dos grupos de datos, se procedió a realizar una prueba F para igualdad de varianzas basada en dos muestras en la que se obtuvo un *p-value* de 0,0723 demostrando que las que las varianzas de ambos grupos de datos son iguales.

Prueba F para igualdad de varianzas

Variable	Grupo(1)	Grupo(2)	n(1)	n(2)	Var(1)	Var(2)	F	p	prueba
Producción	{Cadenas}	{Sulky}	36	5	0,51	0,07	6,88	0,0723	Bilateral

Figura 13. Prueba F para igualdad de varianzas para los datos de Producción (m³/hora) obtenida en cada una de las 5 fincas evaluadas durante el arrastre de madera de plantaciones forestales con búfalo de agua, Limón, Costa Rica. 2016

Utilizando estadística paramétrica, mediante una prueba T, se verificó si existía o no diferencia entre ambos métodos de arrastre; con un p-value de 0,0946 se indica que no existe diferencia.

Prueba T para muestras Independientes

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media(1)	Media(2)	pHomVar	p-valor	prueba
Método de arrastre	Producción	{Cadenas}	{Sulky}	2,08	2,10	0,0723	0,9646	Bilateral

Figura 14. Prueba T para los datos de Producción (m³/h) obtenida en cada una de las 5 fincas evaluadas durante el arrastre de madera de plantaciones forestales con búfalo de agua, Limón, Costa Rica. 2016

Para que se visualicen los resultados obtenidos se recurre a una prueba de Tukey, la figura 15 muestra los resultados.

```

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,53451
Error: 0,4684 gl: 39
Método de arrastre Medias n E.E.
-----
Cadenas          2,08 36 0,11 A
Sulky            2,10  5 0,31 A
-----
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)
    
```

Figura 15. Prueba T para los datos de Producción (m³/h) obtenida en cada una de las 5 fincas evaluadas durante el arrastre de madera de plantaciones forestales con búfalo de agua, Limón, Costa Rica. 2016

Los datos sugieren que estadísticamente no existió diferencia entre la utilización de uno o de otro método de arrastre, es decir, específicamente para las 5 fincas evaluadas en este trabajo fue indiferente si se arrastraba con sulky o si se hacía con cadenas ya que las condiciones de terreno, topografía, plantación y clima fueron muy homogéneas originando poca variabilidad entre los métodos de arrastre; no debería suceder así si se utilizan ambos métodos en otras circunstancias, es decir, en condiciones de pendientes pronunciadas, distancias muy largas y terrenos con mucha humedad, la utilización de cada uno de los métodos de arrastre influiría significativamente en los resultados obtenidos.

4.2.6 Predicción de la producción.

Siguiendo la sugerencia del análisis de los datos y utilizando el programa SPSS Statistics, se desarrolló un modelo de regresión para el tratamiento raleo y otro para tala rasa.

a) *Generación de un modelo de regresión para un conjunto de datos obtenidos durante un raleo.*

Se seleccionó el mejor modelo que predijera con mayor exactitud la producción (m³/h), el cual excluyó la variable “eficiencia” e incluyó otras como “volumen”, “distancia de arrastre” y “duración total de la jornada”. El modelo tuvo un ajuste o R² corregido de 93,2% y todas sus variables fueron altamente significativas. La ecuación de ajuste seleccionada fue la siguiente:

$$P = 1,633 + 0,154 * V - 0,002 * D - 0,109 * T$$

Donde:

- P: producción (m³/h)
- V: volumen por jornada (m³)
- D: distancia de arrastre (m)
- T: duración total de la jornada (h)

Se verificaron los supuestos de la regresión de la siguiente manera: la linealidad y la homocedasticidad por medio de gráficos de dispersión mientras que la normalidad de los residuos a través de una prueba de Shapiro-Wilks. Las tres variables independientes presentaron varianza constante, mostrando valores distribuidos de manera constante a lo largo de la muestra (Figura 3), mientras que la prueba de normalidad de los residuos mostró un *p-value* de 0,1385 señalando que los datos son normales, cumpliendo con el tercer supuesto de los modelos de regresión.

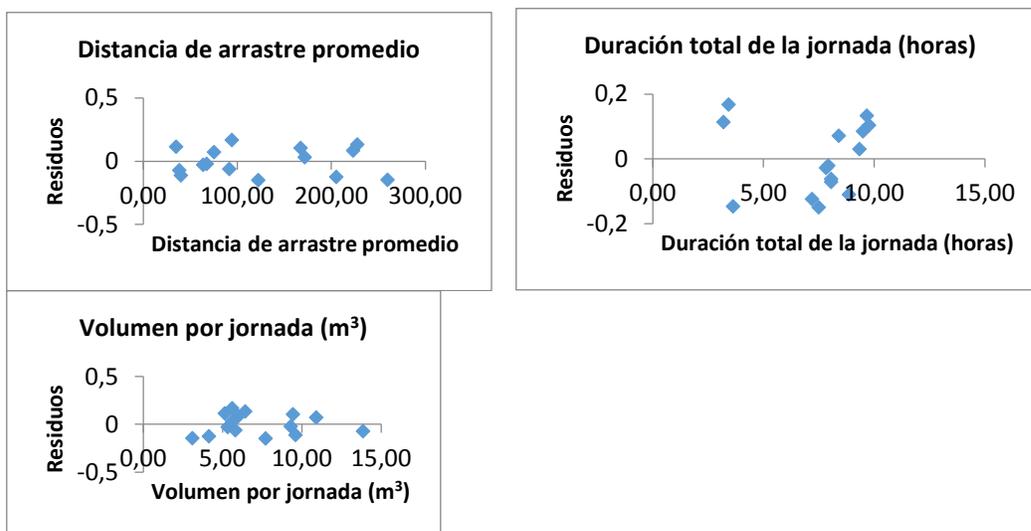


Figura 16. Gráficos residuales para las variables del modelo de regresión para el tratamiento silvicultural de raleo. Limón, Costa Rica. 2016.

b) *Generación de un modelo de regresión para un conjunto de datos obtenidos durante una tala rasa.*

El modelo de regresión generado a partir de los datos del tratamiento tala rasa mostraron un R^2 ajustado de 86,7% en el que todas las variables incluidas resultaron altamente significativas, es decir, que todas las variables incluidas aportar algo al modelo. La ecuación de mejor ajuste seleccionada fue la siguiente:

$$P = 5,042 + 0,199 * V - 0,001 * D - 0,275 * T - 0,041 * E$$

Donde:

- P: producción (m³/h)
- V: volumen por jornada (m³)
- D: distancia de arrastre (m)
- T: duración total de la jornada (h)
- E: eficiencia de la operación (%)

Según se muestra en la figura 17, la varianza de las variables incluidas dentro del modelo fue constante. El supuesto de normalidad también se cumplió arrojando un *p-value* de 0,7671 que asegura la normalidad de los residuos del modelo seleccionado.

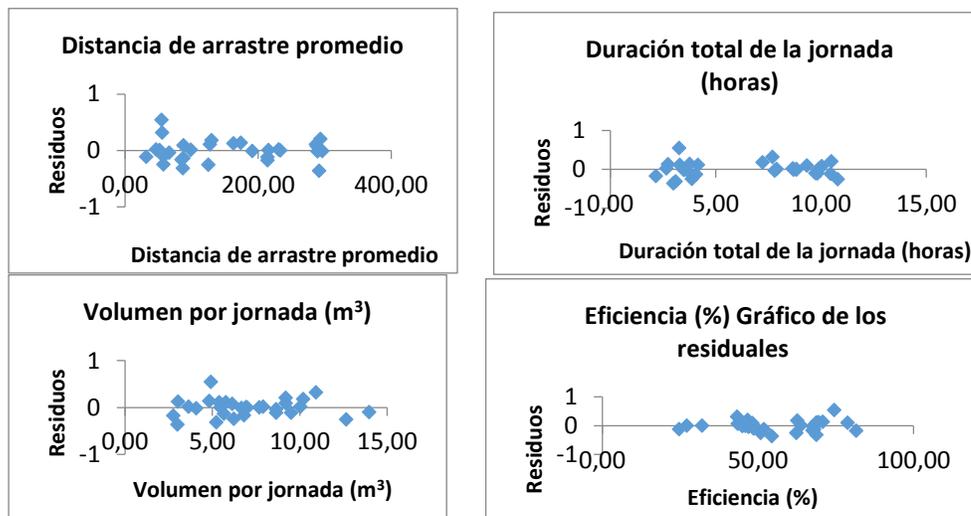


Figura 17. Gráficos residuales para las variables del modelo de regresión para el tratamiento silvicultural de tala rasa. Limón, Costa Rica. 2016

c) Validación de los modelos.

Según Jiménez (2012), todo modelo de estimación concluye con la validación del mismo, siendo la recolección de datos y la construcción los dos primeros pasos.

Para realizar la validación se recurrió a los datos previamente asilados, mismos que no fueron incluidos en la construcción de los modelos. Para validar los modelos desarrollados con el conjunto de datos de raleo se utilizaron 5 jornadas de trabajo, mientras que para la validación de la tala rasa se utilizaron 10 jornadas: en ambos casos correspondió a un 25% del total de los datos.

La fórmula de porcentaje de sesgo fue aplicada para ambos modelos. En ambos casos el porcentaje se encuentra dentro del intervalo permitido de sesgo (-2%, +2%), lo que permite de decir con confianza que un modelo predice de manera correcta una variable.

$$\% \text{Sesgo a)} = \frac{-0,14}{8,41} * 100 = -1,66\% \qquad \% \text{Sesgo b)} = \frac{0,0019}{22,28} * 100 = 0,0083\%$$

El signo negativo, mostrado en el resultado del primer modelo, indica que se estaría sobrestimando la producción en un 1,66%, ya que la suma de los valores estimados fue mayor que la suma de los valores observados, sin embargo, si se visualizan los resultados del modelo desarrollado para los datos de tala rasa, se puede decir que el modelo es muy bueno y que subestima los cálculos de producción en apenas un 0,008%.

Además, se realizó una prueba de Wilcoxon de manera que se reforzara la validez de ambos modelos, obteniendo en ambos casos un *p-value* de 0,99, lo que señala que la suma de los valores observados es igual a la suma de los valores estimados

4.3 Impacto de la operación.

4.3.1 Impacto de la operación de arrastre con búfalo de agua en los árboles remanentes:

En el tratamiento silvicultural de raleo se realizó una evaluación para verificar el impacto de la operación de arrastre con búfalos de agua en los árboles remanentes ubicados al margen de las pistas principales de arrastre; la evaluación se aplicó a todas las fincas excepto a la Finca V ya que en esta se realizó una cosecha final por lo que no se dejaron remanentes en la plantación. Los resultados del análisis se muestran en el cuadro siguiente:

Cuadro 6. Resultados de la evaluación de impacto del arrastre con búfalo de agua en los árboles remanentes según la categoría de daño en un aprovechamiento de plantaciones forestales. Limón, Costa Rica. 2016.

PISTA	Finca I			Finca II			Finca III			Finca IV		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	9	2	0	8	1	1	0	0	0		1	
2	7			9	2		5	0	2	8	1	1
3	5			5	1		4	0	0	7		
4	7	1		3	1		3	1	3	8	1	
5	6	2		7			2	0	0			
6	7	1		6								
7	5			6	2							
8	8	2		5								
9	6			4	1							
10	10			7	1							
Sumatoria	70	8	0	60	9	1	14	1	5	23	3	1

A: Árbol sin daño visible en su corteza y raíces.

B: Árbol con daño visible en la corteza, presenta remoción de la misma en placas que representan un área de 10 x 10 cm mínimo.

C: Árbol muy dañado, la corteza se aprecia desprendida en placas o tiras que representan un área de 20 x 20 cm.

Se observaron los daños provocados a un total de 195 árboles en pie dentro de las cuatro fincas, de los cuales un 85,64 % no presentó ningún daño visible en su corteza ni en sus raíces (categoría A) y apenas un 3,69 %, el equivalente a 7 árboles, se encontraron dentro de la categoría C con fuertes daños en la corteza y/o raíces (Figura 18).



Figura 18. Distribución porcentual de las observaciones de árboles impactados según la categoría de daño en un aprovechamiento de plantaciones forestales con búfalo de agua. Limón, Costa Rica. 2016.

El bajo impacto en los árboles aledaños a las pistas de arrastre utilizadas por el búfalo muestra lo ventajoso de su utilización en raleos comerciales de plantaciones forestales. Para minimizar aún más el impacto causado, en los raleos deben dejarse de último los árboles que están a ambos lados de las pistas principales de arrastre que se utilizarán y que deben ser cortados, con la finalidad de que sirvan de barrera y protejan a los árboles remanentes.

4.3.2 Impacto de la operación de arrastre con búfalo de agua en el suelo:

a) *Disturbio en el suelo:*

Se identificó el porcentaje de daño causado al suelo producto del arrastre realizado en las plantaciones, tal y como se muestra en la Figura 19.

De un total de 106 puntos de observación, en 48 ocasiones el suelo presentó un grado leve de disturbio (categoría B), mientras que un total de 17 puntos de observación señalaron que el suelo presentaba una alteración severa, donde el horizonte A del suelo se encontraba expuesto y se apreciaban signos de compactación (categoría D).



Figura 19. Distribución porcentual de las observaciones según la categoría de disturbio en el suelo en un aprovechamiento de plantaciones forestales con búfalo de agua. Limón, Costa Rica. 2016.

Según la clasificación de disturbio utilizada², un 61 % del área no sufrió prácticamente ningún tipo de impacto (A + B), pero un 16% del área aprovechada sufrió un daño severo (D). El impacto se reducirá en la medida en que se planifique y se respeten las pistas de arrastre; en el caso evaluado hubo un cambio de raleo a tala rasa justo en los días que se recolectaba información, lo que genera un espacio más amplio en el terreno que hace que el búfalo se mueva por espacios más abiertos y no solo por una pista como sí lo hace en el raleo, esto genera un área mayor afectada.

b) Compactación de suelo:

Se utilizó la densidad aparente del suelo como indicador de compactación del suelo en la actividad de arrastre con búfalos de agua. Se recolectaron un total de 96 muestras, 48 de las cuales fueron tomadas en el área disturbada mientras que las restantes 48 del área testigo, 12 muestras y 12 testigos en cada una de las 4 fincas; los resultados del análisis se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Densidad promedio (gr/cm^3) del suelo para cada una de las fincas evaluadas, según la categoría de disturbio en el suelo en un aprovechamiento de plantaciones forestales con búfalo de agua. Limón, Costa Rica. 2016.

Categoría	Finca I	Finca II	Finca III	Finca IV	Promedio
Disturbado	1,0674	1,0624	1,1158	1,0589	1,0761
No disturbada	1,0299	0,9318	1,0599	1,0057	1,0068

² A: suelo sin disturbio, B: suelo levemente disturbado, C: suelo disturbado, D: suelo muy disturbado.

Se realizó un análisis para determinar si existían o no diferencias desde el punto de vista estadístico comparando las medias de los tratamientos.

Se realizó una prueba de normalidad Shapiro Wilks para verificar si los datos se distribuían de manera normal, con un p-value de 0,5218 se acepta la hipótesis nula, es decir, los datos son normales.

Shapiro-Wilks (modificado)

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Densidad aparente	8	1,04	0,05	0,92	0,5218

Considerando que existen únicamente dos grupos de datos, se procedió a realizar una prueba F para igualdad de varianzas basada en dos muestras en la que se obtuvo un p-value de 0,2683 demostrando que las varianzas de ambos grupos de datos son iguales.

Prueba F para igualdad de varianzas

Variable	Grupo(1)	Grupo(2)	n(1)	n(2)	Var(1)	Var(2)	F	p	prueba
Densidad aparente	{Disturbado}	{No disturbado}	4	4	7,1E-04	3,0E-03	0,24	0,2683	Bilateral

Utilizando estadística paramétrica, mediante una prueba T, se verificó si existía o no diferencia entre ambos métodos de arrastre; se obtuvo un valor de p-value de 0,0630 lo que indica que no existe diferencia.

Prueba T para muestras Independientes

Clasific	Variable	Grupo 1	Grupo 2	Media(1)	Media(2)	pHomVar	p-valor	prueba
Categoría	Densidad aparente	{Disturbado}	{No disturbado}	1,08	1,01	0,2683	0,0630	Bilateral

Se realizó una Prueba de Tukey con la cual se visualiza que ambos conjuntos de datos son estadísticamente iguales.

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,07446

Error: 0,0019 gl: 6

Categoría	Medias	n	E.E.
No disturbado	1,01	4	0,02 A
Disturbado	1,08	4	0,02 A

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

Según Jiménez (2001), la densidad aparente varía desde 0,1 g/cm³ o menos en suelos orgánicos hasta 1,6 g/cm³ en suelos minerales. La variación se debe en su mayor parte a diferencias en el volumen total de poros, por lo que se concluye en este caso específico que no existe compactación en el área disturbada por los búfalos de agua.

Como se puede apreciar, la densidad aparente del suelo no cambia después del aprovechamiento, es decir que el impacto cuantificado como disturbio es de carácter superficial.

Finalmente, las fincas evaluadas no tenían flujos de agua permanentes ni temporales por lo que este aspecto no fue evaluado.

4.3.3 Área afectada por construcción de pistas.

El levantamiento topográfico realizado muestra porcentajes de afectación bajos para cada una de las fincas evaluadas (Cuadro 8). La elaboración de las pistas de saca o secundarias representó la mayor cantidad de metros de construcción, estas pistas no requieren remoción del suelo, solamente se realiza una corta de arbustos o malezas, no se eliminan obstáculos puesto que el búfalo pasará por ahí una o dos veces como máximo. La pista primaria o pista de arrastre por el contrario, es un trecho por el que el búfalo pasará muchas veces durante la operación, requiere de una limpieza y eliminación de obstáculos. En el caso evaluado, se utilizaron líneas viajes utilizadas para la extracción del banano que aún existían en el terreno o bien trochas ya existentes como lindero o dentro de la finca.

Cuadro 8. Área cubierta por pistas primarias y secundarias por finca y porcentaje de afectación en un aprovechamiento de plantaciones forestales con búfalo de agua. Limón, Costa Rica. 2016

Finca	Área (ha)	Longitud de pistas primarias (m)	Área de pistas primarias (ha)	Longitud de pistas secundarias (m)	Área de pistas secundarias (ha)	Total de área afectada (%)
I	2,1	288,23	0,057646	540,94	0,054094	5,32
II	1,9111	265,01	0,053002	550,83	0,055083	5,66
III	0,88	126,91	0,025382	266,36	0,026636	5,91
IV	1,23	91,14	0,018228	219,86	0,021986	3,27

El total de área afectada por pistas de arrastre no supero el 6 % en ninguna de las fincas evaluadas, valor que se considera muy bajo si se considera que para el bosque natural el MINAE (1998) establece un 25 % como valor máximo de impacto en el área aprovechada. El impacto causado en las pistas de saca o secundarias es mínimo, ya que se limita al paso del búfalo una o dos veces para acceder a los árboles cortados, rápidamente salen de ellas para circular por la pista de arrastre principal donde se concentra el impacto mayor. Sin embargo, aunque en las pistas principales se concentra el mayor impacto, los datos de

densidad del suelo señalados anteriormente no muestran un aumento en la compactación del suelo por lo que se concluye que el impacto en el suelo por el paso del búfalo es mínimo.

4.4 Costos de operación del búfalo de agua en arrastre.

4.4.1 Costos fijos:

Para el cálculo de los costos fijos se utilizaron datos reales de mercado y de la experiencia del cuidado y mantenimiento del búfalo evaluado, estos datos se muestran en el Cuadro 9. Se consideraron como costos fijos la depreciación del búfalo, el costo de capital calculado con base en la inversión media anual, la alimentación, la asistencia veterinaria y la mano de obra.

4.4.2 Costos variables:

Para los costos variables solo fueron considerados la cadena de arrastre y los implementos requeridos para el arrastre: sillín, balancín, cuerdas, pelero, pechera, y cadenas (Figura 18).



Figura 18. Implementos utilizados por el búfalo de agua en la operación de arrastre de un aprovechamiento de plantaciones forestales. Limón, Costa Rica. 2016.

4.4.3 Costo de producción:

El costo total obtenido es de ₡ 4057,57 por hora programada (Anexo 8) y utilizando una producción promedio de 1,13 m³/hora programada, se obtuvo un costo de producción ₡ 3590,76 por metro cúbico.

El costo por hora reportado para una yunta de bueyes por Villalobos-Barquero y Meza-Montoya (2016) es de ₡ 3005 por hora programada, valor muy similar si se considera que para los bueyes se consideran dos animales.

Cuadro 9.

Información recopilada para el cálculo de los costos de una operación de arrastre de madera de plantaciones con búfalo de agua, Batán, Limón. 2016.

DESCRIPCIÓN	MONTO O VALOR
Búfalo de 2 años de edad entrenado	₡ 3 000 000
Vida útil del búfalo	10 años
Valor de rescate del búfalo	₡ 900/kg en pie
Forraje (80 kg/día)	₡ 3600/día
Concentrado (2 kg/día)	₡ 560/día
Minerales (0.6 kg/día)	₡ 385/día
Vitaminas y desparasitante	₡ 38.53/día
Mano de obra (1 operario)	₡ 13 915/día (csi)
Tasa de interés	8%

4.5 Divulgación de resultados.

4.5.1 Día de campo:

Con base en las búsquedas realizadas y con base en los resultados preliminares, se sistematizó la información y se elaboró un documento divulgativo tipo desplegable para entregar en el día de campo (Anexo N°3).

Se planificó y ejecutó un día de campo demostrativo con la colaboración de ASIREA, el programa, invitación y lista de asistentes se encuentran en el Anexo N°4. La actividad se ejecutó el día 12 del mes de agosto del año 2016 en la localidad de Sahara en Batán, Limón; asistieron un total de 18 productores y se contó con el apoyo técnico y logístico de ASIREA.

4.5.2 Manual técnico:

Con base en las búsquedas realizadas, la experiencia adquirida en la recolección de datos y las entrevistas con el colaborador del proyecto Guillermo Mora Valladares, se elaboró un borrador de un manual técnico sobre el uso y entrenamiento de búfalos de agua en labores de arrastre de madera de plantaciones forestales (Anexo N°5).

4.5.3 Congresos y publicaciones:

Al inicio del proyecto se participó en el programa Impacto Tec que se transmite por Radio Monumental, se trató el tema de los búfalos de agua en general ya que aún no existían resultados del proyecto.

Los resultados preliminares fueron divulgados con una ponencia en el VII Congreso agropecuario, forestal y ambiental de Costa Rica en el mes de octubre del año 2016. También serán presentadas dos ponencias en la Convención Internacional Agroforestal de Cuba 2017 en el mes de mayo. (Anexo N°6).

Se participó en el VII Encuentro de Investigación y Extensión de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión realizado en el mes de marzo del año 2016 en el parque central de Cartago. Se contó con material audiovisual, material escrito y se brindó información persona a persona.

Se realizó una publicación técnica que fue presentada a la Revista Kurú y ya fue aceptada para su revisión (Anexo N°7).

4.5.4 Participación de estudiantes:

Se desarrolló la tesis de maestría de Verónica Villalobos Barquero y se contó con la participación de dos estudiantes (Ezequiel Fallas y Sharon Villalobos) en la logística y ejecución del día de campo.

V. CONCLUSIONES.

La observación realizada del búfalo de agua realizando el arrastre muestra un animal dócil, ágil y capaz de pasar obstáculos en el campo por su condición de trabajar solo (no en yunta). Es un animal constante en el trabajo y adaptable a diferentes condiciones de sitio.

Los búfalos de agua trabajando en la operación de arrastre de fustes de plantaciones forestales tienen una eficiencia muy similar a la obtenida para bueyes, pero se considera baja si se compara con un tractor de orugas, sin embargo, las acciones para aumentar esta variable son sencillas y fáciles de implementar.

Para mejorar la eficiencia de los búfalos se debe planificar las labores del sistema de aprovechamiento para que las operaciones anteriores y posteriores al arrastre, permitan o faciliten las labores del búfalo, por ejemplo: la corta dirigida, un buen desrame, un sistema de carga fluido que impida acumulaciones de fustes o trozas en el patio y el diseño de un patio amplio.

La duración del tiempo de viaje cargado es muy similar al viaje vacío, lo que refleja que en la evaluación realizada no se ha completado la capacidad de carga del animal. El uso de búfalos de agua en operaciones donde los fustes presenten un mayor volumen por unidad, podría aumentar significativamente la producción obtenida por hora y por tanto disminuir el costo de producción.

El análisis estadístico realizado a los datos muestra una pequeña diferencia en la producción entre los tratamientos raleo y tala rasa, debido a que la diferencia de volumen por fustes entre ambos tratamientos es muy baja, producto de la decisión precipitada de los propietarios de

cortar toda la plantación cuando aún no se apreciaba el efecto en crecimiento del último raleo aplicado.

El análisis realizado a los datos no muestra diferencia significativa en la producción entre los tratamientos cadena y “sulky”, probablemente porque ambos métodos fueron utilizados bajo la misma distancia de arrastre, cuando en realidad el “sulky”, para mostrar sus beneficios, debería ser utilizado en distancias mayores y con una carga mayor.

La operación de arrastre de raleos y corta final de plantaciones forestales realizada con búfalos de agua, no provoca un daño severo en los árboles remanentes y el suelo.

Al utilizar búfalos de agua en el arrastre de fustes de plantaciones forestales, la baja producción por hora se ve compensada con el bajo costo de producción; los niveles de producción requeridos por día deben ser ajustados con la cantidad de animales a utilizar.

VI. RECOMENDACIONES.

Cuando se trabaja un sistema de aprovechamiento en plantaciones forestales es fundamental que las etapas del sistema se realicen de forma funcional, favoreciendo siempre el accionar del animal; de esta manera una buena planificación de las pistas principales, la corta dirigida, un buen desrame y patios limpios producto de una carga eficiente, permitirán una disminución importante en los tiempos muertos y un aumento en el volumen arrastrado por día.

El búfalo de agua es un animal lento pero muy fuerte, ágil y constante, por lo que su uso debe ser evaluado en un sistema combinado, donde el animal realiza la labor más difícil de llegar al fuste en el sitio de corta y realizar su arrastre en distancias que no deben superar los 100 metros hasta una pista más elaborada, donde un método más rápido realiza la otra fase del arrastre hasta un patio de acopio.

El desconocimiento del búfalo como animal de tracción forestal, hace que muchas veces se utilicen sistemas de aprovechamiento con un costo más alto que no dejan las utilidades esperadas por el productor; por eso se recomienda estructurar un programa de divulgación y demostración de estos animales en labores forestales.

La cría de búfalos de agua trae consigo una serie de beneficios que podrían contribuir en gran medida con las economías familiares de las zonas más pobres del país; la venta de carne y la elaboración de sub-productos de la leche pueden permitir ingresos importantes, máxime si se logra algún tipo de organización entre los productores que les permita saltar intermediarios y brindar valor agregado a sus productos.

VII. AGRADECIMIENTOS.

Un agradecimiento a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica por el financiamiento brindado para la ejecución de este proyecto.

De igual forma se agradece al Coordinador del Centro de Investigación en Innovación Forestal y a su equipo administrativo por el apoyo brindado en la logística para la recolección de información de campo.

Al señor Rodrigo Víquez y la Ing. María José Solano, gracias por su colaboración en la recolección de información de campo.

Un agradecimiento muy especial al señor Guillermo Mora Valladares (“Memo Búfalo”) por su apoyo incondicional, el aporte de su experiencia, de sus conocimientos y de sus animales para realizar los trabajos sobre los que se recolectaron los datos de campo.

Finalmente un agradecimiento al señor Edwin Rodríguez por facilitarnos sus plantaciones para realizar la recolección de datos de campo.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Alder, D. (1980). *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento, con referencia especial a los trópicos* (No. CIDAB-SD391-F6e-22/2). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/016/ap354s/ap354s00.pdf>

Arango, J. P., Rivera, B., y Granobles, J. C. (2000). Elaboración y validación de modelos de estimación de producción lechera en sistemas especializados. *Preparación para publicación Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. Recuperado de <http://www.condesan.org/memoria/COL0500.PDF>

Arriaga, C., Castelán, O., y Velásquez, L. (2003). Investigación en animales de trabajo para el desarrollo rural. Centro de Investigación en Ciencias Agropecuarias (p. 111). Recuperado de <https://books.google.co.cr/books>

Asamblea Legislativa de Costa Rica. (2016). Proyecto de Ley: Reformas al Código Penal, Ley N.º 4573 y Reformas de la Ley de Bienestar de los Animales, Ley N.º 7451. 2011. Recuperado de http://www.asamblea.go.cr/Centro_de_informacion/biblioteca/Centro_Dudas/Lists/Formule%20su%20pregunta/Attachments/305/Expediente%2018298.pdf

Banco Mundial. (2016). La riqueza forestal de Costa Rica es mayor que lo previsto, según la contabilidad de sus recursos naturales. Disponible en <http://www.bancomundial.org>

Cándano, F., Vidal, A., Pinto, A. M., y Machado, C. C. (2004). Evaluación de tres métodos para el arrastre de madera en rodales naturales de *Pinus caribaea var. caribaea*. *Revista Árvore*, 28(3), 373-380. Recuperado de <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n3/21604>

- Chirwing, J. C. (1994). Los animales de trabajo y sus múltiples aportes al desarrollo agrícola rural. Servicio de producción animal. *División de producción y sanidad animal*. FAO, Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/v8180t/v8180T0p.htm>
- 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.
- Cordero, W., Frisk, T., y Dykstra, D. (1995). Uso de bueyes en operaciones de aprovechamiento forestal en áreas rurales de Costa Rica. Estudio Monografico de Explotación Forestal (FAO). no. 3. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/v4925s/V4925s00.htm#TopOfPage>
- Cordero, W y Meza-Montoya, A. (1992). Algunas notas sobre prácticas de aprovechamiento forestal mejorado. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Evans, J. (1998). La producción sostenible de madera en las plantaciones forestales. Unasya – No. 192. FAO. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/w7126s/w7126s00.htm#Contents>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (1984). “Extracción de trozas mediante bueyes y tractores agrícolas”. Estudio de Montes N° 49. Roma. 104 p.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (1995). “Uso de bueyes en operaciones de aprovechamiento forestal en área rurales de Costa Rica”. Estudio Monográfico de Explotación Forestal. Roma. 41 p.
- 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.
- Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (2015). Datos climáticos para la provincia de Limón, Costa Rica. Recuperado de <https://www.imn.ac.cr/web/imn/inicio>
- Hughell, D. A. (1990). Modelos para la predicción del crecimiento y rendimiento de *Eucalyptus camaldulensis*, *Gliricidia sepium*, *Guazuma ulmifolia* y *Leucaena leucocephala* en América Central (No. 22). CATIE. Recuperado de <http://bibliotecaorton.catie.ac.cr/>
- Jiménez, A. C. A. (2001). *Suelos tropicales*. EUNED.
- Jiménez, R. (2012). Estadística inferencial II. Regresión lineal simple y múltiple. Instituto Tecnológico de Ensenada. Recuperado de https://www.academia.edu/8137314/Estad%C3%ADstica_Inferencial_II

- León-Guzmán, M. (2006). El bienestar animal en las legislaciones de América Latina. *Revista deficiencias veterinarias de la Universidad Nacional*, (24). Recuperado de http://www.lascaux.univ-nantes.fr/documents/sources_lascaux/articles/Marlen_Leon_Guzman_Bienestar_Animal_2006_ES.pdf
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). (1998). Principios, Criterios e indicadores para el manejo forestal y la certificación en Costa Rica. Recuperado de <http://www.sirefor.go.cr/Documentos/Legislacion/27388.pdf>
- Oficina Nacional Forestal. (2014). Usos y aportes de la madera en Costa Rica: estadísticas 2014.
- Oficina Nacional Forestal (2017). Recuperado de <https://www.onfcr.org/publicaciones-tecnicas-onf/otros-documentos>
- Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE). (2015). *Código Sanitario para los Animales Terrestres de la OIE*. Recuperado de <http://www.oie.int/es/bienestar-animal/>
- Prado, J. A. (2015). Las Plantaciones Forestales: más allá de los árboles. Ministerio de Agricultura, Chile. Recuperado de: http://www.corma.cl/_file/material/libroplantforestales.pdf
- Rosales, R. R. (2011). Situación del búfalo de agua en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 24(5), 19.
- Sotomayor, A., Helmke, E., y García, E. (2002). Manejo y mantención de plantaciones forestales. *Concepción, Chile. INFOR, CORFO (Chile)*. Recuperado de <http://icf.gob.hn/wp-content/uploads/2015/12/PREFO-Manual-de-Manejo-Forestales-en-Chile.pdf>
- Torres, E. G. (2009). Búfalos: Una Especie Promisoria. Universidad Nacional de Colombia. 5pp. Recuperado de <http://www.produccion-animal.com.ar>
- Villalobos-Barquero, V., y Meza-Montoya, A. (2016). Evaluación de la etapa de arrastre en un aprovechamiento de plantaciones forestales de Acacia (*Acacia mangium*). San Carlos, Alajuela, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 13(33), 03-10. Recuperado de <http://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/2572>

IX. ANEXOS.

Anexo 1. Fichas técnicas de cada una de las 5 fincas evaluadas durante el arrastre de madera utilizando búfalos de agua. Bataán, Limón, Costa Rica. 2016.

SITIO N° 01.

1. **PROPIETARIO:** Mario Castillo Alvarado, dueño de la tierra.
PROPIETARIO: Edwin Rodríguez, dueño de la madera.

2. UBICACIÓN

2.1 Política:

Provincia: Limón.
Cantón: Matina.
Distrito: Bataán.
Localidad: Sahara.

2.2 Geográfica:

Hoja cartográfica: Matina
Coordenadas: Longitud: 83°20'32"O, Latitud: 10°05'09"N

3. CONDICIÓN DEL SITIO

Topografía: plana (plana u ondulada, % promedio de pendiente)

Tipo de suelo: Inceptisol (arcilloso, arenoso, limoso, pedregoso o no)

Humedad: muy húmedo (seco, húmedo, muy húmedo, anegado)

4. DATOS DE LA PLANTACIÓN

3.1 Especie: Melina

4.2 Edad: 5 años

4.3 Área: 2,1025 has

4.4 Diámetro promedio: 24,95 m

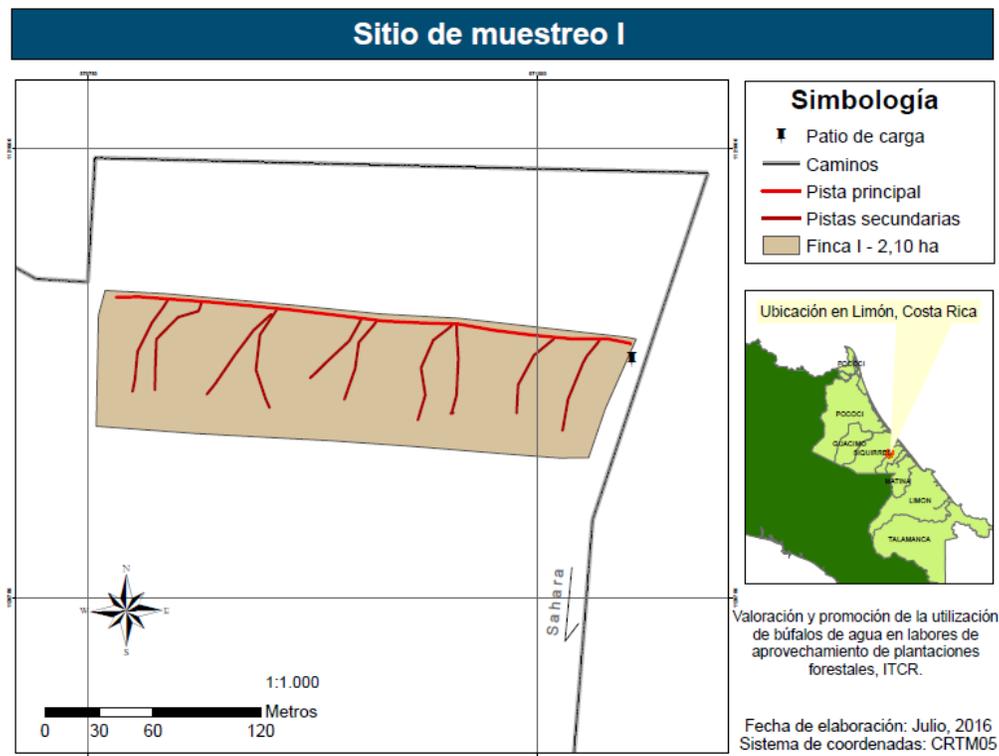
- 4.5 Altura total promedio: 14,91 m (10 árboles más altos)
- 4.6 Altura comercial promedio: 10,97 m
- 4.7 Volumen comercial promedio por árbol: 0.1983 m³ (71.784pmt)
- 4.8 Estado fitosanitario: no presentó ninguna enfermedad.

5. DATOS PISTAS DE ARRASTRE

Longitud acumulada de pistas principales: 288,23 m; 576,46 m²
 Longitud acumulada de pistas secundarias: 540,94 m; 540,94 m²
 Densidad de pistas principales: 137.08 m/ha
 Densidad de pistas secundarias: 257,284 m/ha

6. MAPA DE LA PLANTACIÓN

Mapa que incluya plantación, pista principal, pistas secundarias, patios de acopio, patios de carga, parcelas de medición, ríos, quebradas, lagunas.



SITIO N° 02.

7. **PROPIETARIO:** Mario Castillo Alvarado, dueño de la tierra.

PROPIETARIO: Ediwn Rodriguez, dueño de la madera.

8. UBICACIÓN

2.1 Política:

Provincia: Limón

Cantón: Matina

Distrito: Bataán

Localidad: Sahara

8.2 Geográfica:

Hoja cartográfica: Matina

Coordenadas: Longitud: 83°20'32"O, Latitud: 10°05'09"N

9. CONDICIÓN DEL SITIO

Topografía: Plana (plana u ondulada, % promedio de pendiente)

Tipo de suelo: Arcillosos (arcilloso, arenoso, limoso, pedregoso o no)

Humedad: Muy húmedo (seco, húmedo, muy húmedo, anegado)

10. DATOS DE LA PLANTACIÓN

3.1 Especie: Melina

10.2 Edad: 5 años

10.3 Área: 1,9111 has

10.4 Diámetro promedio: 26,66 m

10.5 Altura total promedio: 15,88 m (10 árboles más altos)

10.6 Altura comercial promedio: 10,88 m

10.7 Volumen comercial promedio por árbol: 0,1878 m³ (67,984 pmt)

10.8 Estado fitosanitario: no presentó ninguna enfermedad.

11. DATOS PISTAS DE ARRASTRE

Longitud acumulada de pistas principales: 265,01 m; 530,02 m²

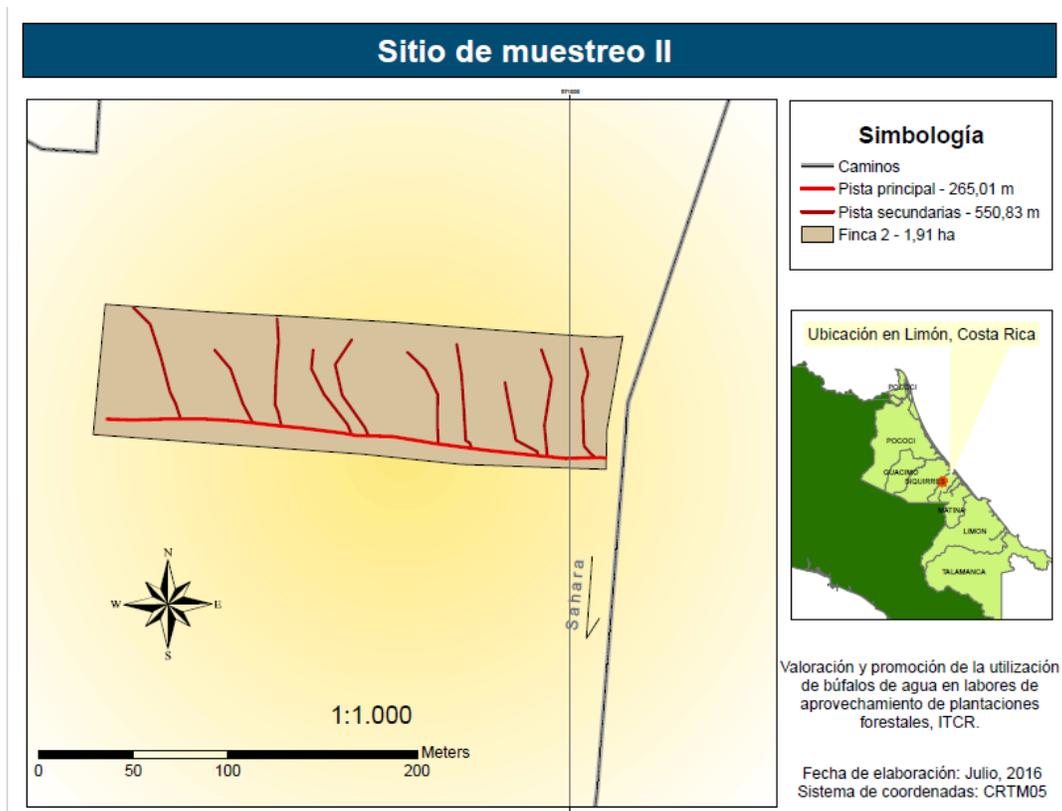
Longitud acumulada de pistas secundarias: 550,83 m; 550,83 m²

Densidad de pistas principales: 138,676 m/ha

Densidad de pistas secundarias: 288,242 m/ha

12. MAPA DE LA PLANTACIÓN

Mapa que incluya plantación, pista principal, pistas secundarias, patios de acopio, patios de carga, parcelas de medición, ríos, quebradas, lagunas.



SITIO N° 03.

13. **PROPIETARIO:** Mario Castillo Alvarado, dueño de la tierra.
PROPIETARIO: Ediwn Rodriguez, dueño de la madera.

14. UBICACIÓN

2.1 Política:

Provincia: Limón
Cantón: Matina
Distrito: Bataán
Localidad: Sahara

14.2 Geográfica:

Hoja cartográfica: Matina
Coordenadas: Longitud: 83°20'32"O, Latitud: 10°05'09"N

15. CONDICIÓN DEL SITIO

Topografía: Plana (plana u ondulada, % promedio de pendiente)

Tipo de suelo: Arcilloso (arcilloso, arenoso, limoso, pedregoso o no)

Humedad: Muy húmedo (seco, húmedo, muy húmedo, anegado)

16. DATOS DE LA PLANTACIÓN

3.1 Especie: Melina

16.2 Edad: 5 años

16.3 Área: 0,88 ha

16.4 Diámetro promedio: 22,66 m

16.5 Altura total promedio: 15 m (10 árboles más altos)

16.6 Altura comercial promedio: 10,03 m

16.7 Volumen comercial promedio por árbol: 0.2441 m³ (88,364 pmt)

16.8 Estado fitosanitario: no presentó ninguna enfermedad.

17. DATOS PISTAS DE ARRASTRE

Longitud acumulada de pistas principales: 126,91 m; 253,82 m²

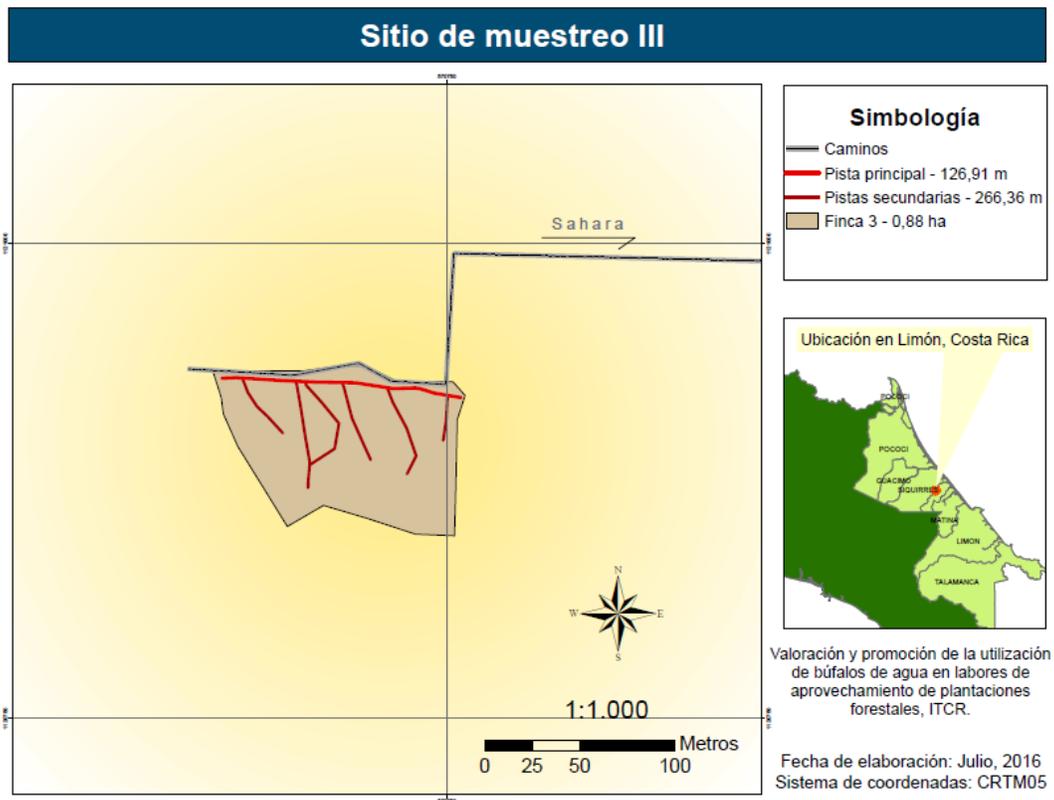
Longitud acumulada de pistas secundarias: 266,36 m; 266,36 m²

Densidad de pistas principales: 144,216 m/ha

Densidad de pistas secundarias: 302,682 m/ha

18. MAPA DE LA PLANTACIÓN

Mapa que incluya plantación, pista principal, pistas secundarias, patios de acopio, patios de carga, parcelas de medición, ríos, quebradas, lagunas.



SITIO N° 04.

19. **PROPIETARIO:** Abel García Araya, dueño de la tierra.
PROPIETARIO: Ediwn Rodriguez, dueño de la madera.

20. UBICACIÓN

Provincia: Limón
Cantón: Matina
Distrito: Bataán
Localidad: Sahara

20.2 Geográfica:

Hoja cartográfica: Matina
Coordenadas: Longitud: 83°20'32"O, Latitud: 10°05'09"N

21. CONDICIÓN DEL SITIO

Topografía: plana (plana u ondulada, % promedio de pendiente)

Tipo de suelo: Arcilloso (arcilloso, arenoso, limoso, pedregoso o no)

Humedad: Muy húmedo (seco, húmedo, muy húmedo, anegado)

22. DATOS DE LA PLANTACIÓN

3.1 Especie: Melina

22.2 Edad: 8 años

22.3 Área: 1,23 has

22.4 Diámetro promedio: 22,82 m

22.5 Altura total promedio: 16,04 m (10 árboles más altos)

22.6 Altura comercial promedio: 10,46 m

22.7 Volumen comercial promedio por árbol: 0,373 m³ (135,207 pmt)

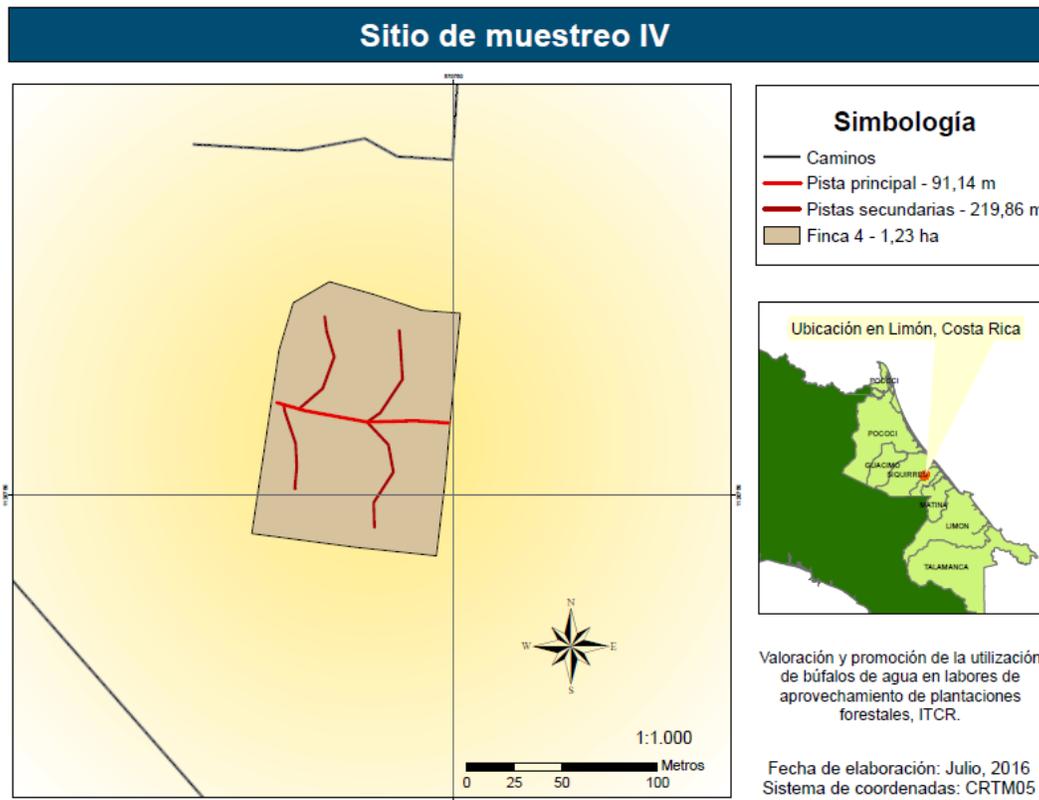
22.8 Estado fitosanitario: al menos un 15% de la plantación presentó Nectria al momento del aprovechamiento.

23. DATOS PISTAS DE ARRASTRE

Longitud acumulada de pistas principales: 91,14 m; 182,28 m²
Longitud acumulada de pistas secundarias: 219,86 m; 219,86 m²
Densidad de pistas principales: 74,098 m/ha
Densidad de pistas secundarias: 178,748 m/ha

24. MAPA DE LA PLANTACIÓN

Mapa que incluya plantación, pista principal, pistas secundarias, patios de acopio, patios de carga, parcelas de medición, ríos, quebradas, lagunas.



SITIO N° 05.

25. **PROPIETARIO:** Juan Paniagua, dueño de la tierra.

PROPIETARIO: Guillermo Mora, dueño de la madera.

26. UBICACIÓN

Provincia: Limón

Cantón: Matina

Distrito: Bataán

Localidad: Sahara

26.2 Geográfica:

Hoja cartográfica: Matina

Coordenadas: Longitud: 83°20'32"O, Latitud: 10°05'09"N

27. CONDICIÓN DEL SITIO

Topografía: plana (plana u ondulada, % promedio de pendiente)

Tipo de suelo: Arcilloso (arcilloso, arenoso, limoso, pedregoso o no)

Humedad: Muy húmedo (seco, húmedo, muy húmedo, anegado)

28. DATOS DE LA PLANTACIÓN

3.1 Especie: Melina

28.2 Edad: 8 años

28.3 Área: 4,61has

28.4 Diámetro promedio: 26,83 m

28.5 Altura total promedio: 18,10 m (10 árboles más altos)

28.6 Altura comercial promedio: 12,03 m

28.7 Volumen comercial promedio por árbol: 0,37m³ (133,94pmt)

28.8 Estado fitosanitario: Al menos un 25% de la plantación presentaba Nectria al momento del aprovechamiento.

29. DATOS PISTAS DE ARRASTRE

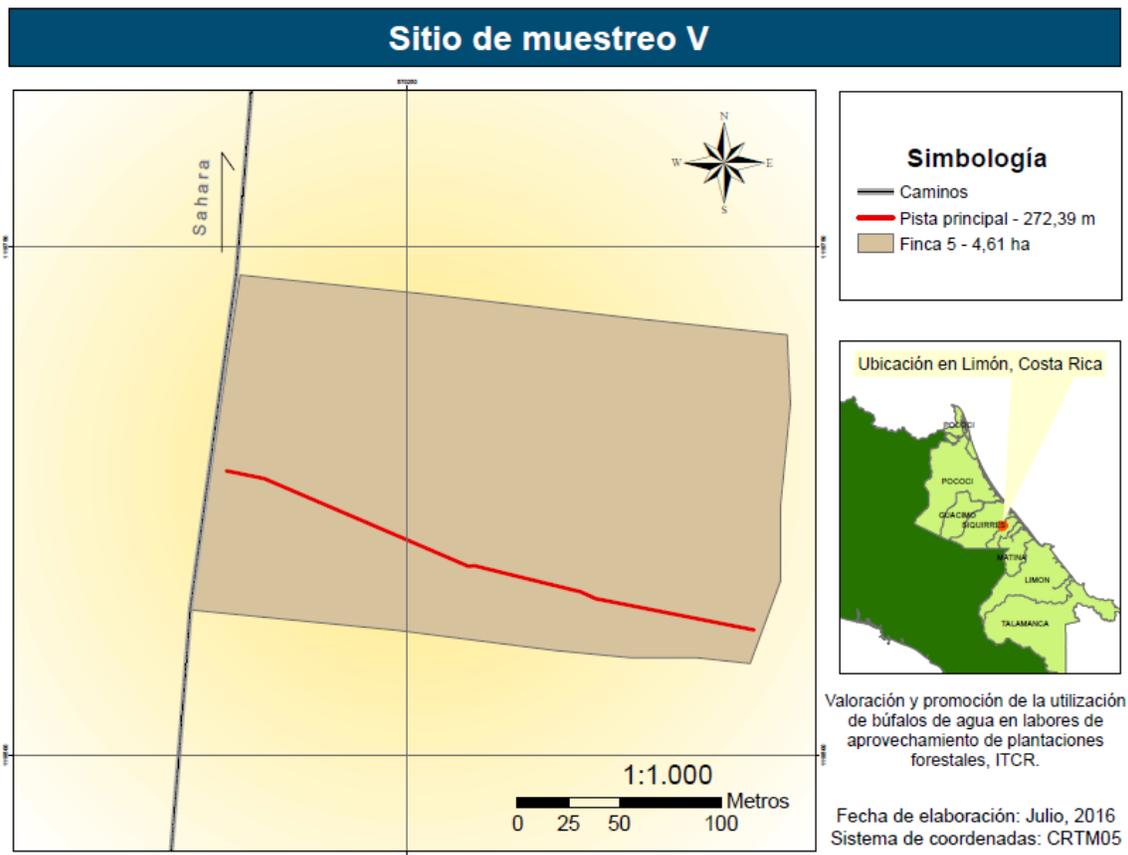
Longitud acumulada de pistas principales: 272,39m; 544,78 m²

Longitud acumulada de pistas secundarias: No hay

Densidad de pistas principales: 59,07 m/ha

30. MAPA DE LA PLANTACIÓN

Mapa que incluya plantación, pista principal, pistas secundarias, patios de acopio, patios de carga, parcelas de medición, ríos, quebradas, lagunas.



Anexo 2. Formulario que contiene los movimientos que componen el ciclo productivo de la etapa de arrastre de madera. Bataán, Limón, Costa Rica. 2016.

Fecha:	Hora inicio:		Hora final:		%	Vol	Vol por	m3/hr	m3/hr	Búfalo	Total de	Tiempo	Tiempo	Observaciones
JORNADA1	Distancia	Árboles	Arastros	Eficiencia										
Número de Trozas/ciclo														
Movimientos Productivos														
Viaje vacío											0	0	0,000	0,000
Amarre											0	0	0,000	0,000
Viaje cargado											0	0	0,000	0,000
Soltar											0	0	0,000	0,000
Colocar aditamentos al búfalo											0	0	0,000	0,000
Total por ciclo (observaciones)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
Distancia de arrastre														
Movimientos improductivos														
Descanso de los búfalos											0	0	0,00	0,00
Descanso del Bufalero											0	0	0,00	0,00
Re-amarre de la carga											0	0	0,00	0,00
Acomodar patio											0	0	0,00	0,00
Desrame o troceo											0	0	0,00	0,00
Esperar											0	0	0,00	0,00
Limpar pista											0	0	0,00	0,00
Carga pegada											0	0	0,00	0,00
Total por ciclo (observaciones)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
TOTAL (observaciones)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,000
TOTAL (minutos)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,000
VOLUMEN POR CICLO (m3)														

Anexo 3. Documento divulgativo de los resultados obtenidos durante la evaluación de la etapa de arrastre de madera. Bataán, Limón, Costa Rica. 2016.



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

USO DE BÚFALOS DE AGUA EN ARRASTRE DE FUSTES EN PLANTACIONES FORESTALES



ARRASTRE CON FUERZA ANIMAL EN COSTA RICA

La mayoría de las operaciones de aprovechamiento basan la operación de arrastre en el uso de tractores agrícolas y animales, combinados en diferentes técnicas para llevar al producto del sitio de corta al punto de carga. El uso de bueyes para realizar la labor de arrastre en aprovechamientos de plantaciones forestales se ha incrementado en los últimos 20 años, ya que ha demostrado ser un método apropiado técnica y financieramente, muy conocido en el país y de bajo impacto.

En cuanto a los búfalos de agua, a pesar de que ya existen en el país varios criaderos y se conoce de experiencias de su uso en labores de arrastre, no existe información documentada sobre su desempeño y costo en esta actividad.

El objetivo de este proyecto es evaluar el desempeño y el costo de producción de los búfalos de agua realizados labores de arrastre de fustes en plantaciones forestales. Se espera que los resultados finales puedan contribuir a mejorar esta actividad y brindar al sector una alternativa al uso de bueyes en esta labor.



CONTACTOS

Proyecto de investigación:

“Valoración y promoción de la utilización de búfalos de agua en labores de aprovechamiento de plantaciones forestales”

Ing. Alejandro Meza Montoya, MAE
Ing. Verónica Villalobos Barquero, Lic.
Escuela de Ingeniería Forestal
Centro de Investigación en Innovación Forestal
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Tel. 2550 2279
almeza@itcr.ac.cr
vvillalobos@itcr.ac.cr

Sr. Guillermo Mora Ballesteros
Aserradero El Búfalo. Cel: 84054581



Resultados preliminares:

Las evaluaciones realizadas hasta la fecha señalan que un búfalo de agua puede arrastrar hasta 1,45 m³/hora efectiva de trabajo (equivalente a 332 PMT/hora), cuando la distancia de arrastre no supera los 100 metros, con topografía plana, y suelo permanentemente húmedo. Con las mismas condiciones, pero en distancias de arrastre mayores a los 100 metros, la producción del búfalo se reduce en promedio a 1,02 m³/hora (375 PMT), valor que aumenta a 1,24 m³/hora (465 PMT) cuando se trillan un arco maderero que eleva la traza disminuyendo la fricción.

Estos datos son muy similares a los reportados para bueyes en condiciones similares, por lo tanto, siendo el trabajo del búfalo de un solo animal, se prevé que los costos de costo de producción sean menores que al utilizar bueyes. Precisamente el costo se estima entre €13/PMT y €15/PMT (€4700/m³ y €5400/m³).

Uso óptimo del búfalo en labores de arrastre:

El análisis del trabajo de campo señala que el búfalo por sí mismo es un método apropiado para realizar el arrastre de fustes de plantación, sin embargo el éxito de su utilización dependerá en gran medida de la planificación del sistema de aprovechamiento, de manera que para lograr un uso óptimo del búfalo, este debe insertarse en un sistema combinado con maquinaria veloz, por ejemplo el tractor agrícola, estrozas, se debe contar con una red vial acorde con los métodos de arrastre a utilizar y tener garantía de una corta digna de los árboles que permitan una buena ubicación de los fustes en el suelo para facilitar su extracción.

Los búfalos deben llegar hasta el tocón del árbol cortado por pías de saca, las cuales deben ser lo más cortas posibles, ya que al ser pequeños corrillos dentro de la plantación, en las mismas habrá obstáculos como troncos, piedras, diques, etc., que obligarán al búfalo a realizar movimientos más extremos que su simple caminar, por ejemplo levantar las patas más de lo normal o bien saltar con la carga sujeta a la cadena.

Debe procurarse que los animales salgan lo más rápido posible de las pías de saca, llegando a una pista de arrastre que ha sido debidamente riamificada y por tanto debe estar limpia de obstáculos, permitiendo un aumento en la velocidad del animal y una menor fatiga en la jornada laboral.



EL BÚFALO DE AGUA (*Bubalus bubalis*) *bubalis*)

El búfalo de agua (*Bubalus bubalis bubalis*) fue introducido en América en el año 1895; a Costa Rica llegó 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, específicamente para leche y carne.

Uno de los principales usos del búfalo de agua a nivel mundial es la producción de leche y derivados. El crecimiento de la producción de leche de búfala en los últimos 30 años es de 248,4%, mientras que la leche de vaca solo creció un 40,5% en ese mismo período. La leche de búfala tiene un valor altamente nutritivo y es excelente para la preparación de productos derivados como yogur, quesos, dulce de leche y mantequilla, siendo la economía de materia prima entre un 20 y un 40% en comparación con la leche de vaca.

La carne de búfalo es una excelente fuente alternativa de proteína roja de alto valor biológico para el alimento de los consumidores, además de que es suave y tiene un aspecto agradable. La producción de carne de búfalo en el año 2007 alcanzó 3,32 millones de toneladas en el mundo, producción en su mayoría en India, Pakistán y China en Asia y Brasil en América.

El búfalo de agua se utiliza en varios países en las labores de arastre de madera, sin embargo, no hay datos reportados del resultado de su trabajo. Se sabe que es una alternativa de bajo costo, poco destructiva y de alto impacto social y económico; causa poco impacto al suelo y a los árboles remanentes, además de que su carácter biológico genera una reducción en el consumo de combustibles.

EL BÚFALO DE AGUA EN ARRASTRE DE FUSTES EN PLANTACIONES FORESTALES

Entrenamiento y edad para el trabajo

El entrenamiento del búfalo se inicia cuando este tiene aproximadamente 1 año de edad, con un peso corporal de 250 kilos. El entrenamiento dura aproximadamente 6 meses, momento en el cual el animal ya puede trabajar, sin embargo el entrenamiento podría llegar hasta un año para lograr mejores resultados. El entrenamiento básico consiste en enseñar al animal a atender una serie de instrucciones básicas como por ejemplo: caminar, detenerse, retroceder, girar a la izquierda, girar a la derecha, levantar la pata y otras. Posteriormente se enseña al animal a caminar arrastrando carga y tirando de una carreta. El búfalo debe llegar a atender las indicaciones sin necesidad de que el operador lo toque, debe obedecer únicamente al escarador las órdenes.

El búfalo de agua tiene una vida útil muy amplia, en Costa Rica existen casos comprobados de animales que han trabajado hasta 25 años. Su rango de operación inicia aproximadamente a los 3 años con un peso corporal entre 600 y 700 kilos.

Ventajas del búfalo de agua para la labor de arrastre.

- ⇒ Su peso corporal es superior al de los bueyes, lo que le permite tener disponible una fuerza de arastre mayor.
- ⇒ Trabaja solo, sin necesidad de yunta, por lo que tiene mayor movilidad en el terreno.
- ⇒ Tiene mayor facilidad que los bueyes para sobrepasar obstáculos en el terreno.
- ⇒ Su rendimiento no se ve afectado por la lluvia o por terrenos embarrados.
- ⇒ A pesar de que es lento, es constante, fuerte y fácil de conducir.
- ⇒ Además de la labor de arastre puede desempeñarse en labores de acomodo de pajo y carga de camiones.
- ⇒ Puede utilizarse con carreta para el acarreo de materiales, insumos, herramientas.
- ⇒ Se puede utilizar para el traslado de residuos a puntos de proceso o carga utilizando carreta u otras adyacencias.
- ⇒ Su entrenamiento y operación son sencillos si se realizan bien desde el inicio.
- ⇒ El mantenimiento y cuidado es sencillo y de bajo costo.
- ⇒ Puede ser producido y crinado por los campesinos, igual que los alimentos para su mantenimiento.
- ⇒ Tiene un valor de rescate importante.



Anexo 4. Documentación del día de campo demostrativo realizado con pequeños productores de la zona de Bataán: Invitación enviada y lista de asistentes. Limón, Costa Rica. 2016.



INVITACIÓN

TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA INGENIERIA FORESTAL-PROGRAMA REGIONALIZACION

ASOCIACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE
LA REGIÓN ATLÁNTICA

Tienen el agrado de invitarle a un "Día de campo demostrativo" sobre:

"Manejo de plantaciones y uso de búfalos de agua para el arrastre de madera de plantaciones forestales."

Lugar: Sahara de Batán, Matina
Fecha: Viernes 12 de agosto del 2016
Hora: 10 am.

Habrà transporte desde Guápiles para las primeras 25 personas que confirmen su asistencia al teléfono 27107416.

Salida: 8 am de las oficinas de ASIREA, 100 metros al oeste de la Guardia Rural, contiguo a Funeraria Vida Eterna, Guápiles, Pococí.
Esperamos contar con su presencia.

www.tec.ac.cr

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

TEC Tecnológico de Costa Rica

Día de campo correspondiente al proyecto de investigación: Evaluación y promoción de la utilización de búfalos de agua (*Bubalis bubalis*) en labores de aprovechamiento de plantaciones forestales.

Organizaciones participantes: ASIREA

Sahara, Bataán. Viernes 12 de agosto de 2016.

	Nombre del participante	Lugar de residencia	Teléfono
1.	Marcos Ortega	Guapiles	8521 5997
2.	Helma Corea Blanco	Guapiles	7073-7139
3.	Angela Ballesteros	San Blas	8364 4304
4.	José Carlos Viquez	Guapiles	670 75 22
5.	Dalila C. Nájera	Guapiles-Batán	8737 0050
6.	Roberto Herrera	Guapiles	177 8160
7.	Pedro Carranza	ASIREA	27107416
8.	José González Vargas	ASIREA	27107416
9.	Monzareth Rivera	Funeraria	2766 6147
10.	Humberto González	Heredia	8771 7110 *
11.	Orvin Rivera	Cartago	8254 1896
12.	Diego Comedón	TEC	84024269
13.	Salomón Cortés	Guapiles	8781-8426
14.	Edison Villalobos	Cartago	8938328
15.	Esquivel Pallas Montero	Cartago	8919 2617
16.	Eliecer Olivera	Batán	8833 8000 CB90
17.	Guillermo Wong Velásquez	Sahara	84054587
	* sphumberto@gmail.com		
18.	Antonio Romero	Sahara	8607 8184

Anexo 5. Manual técnico sobre el uso y entrenamiento de búfalos de agua en labores de arrastre de madera de plantaciones forestales.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

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



**Manual de selección y entrenamiento de búfalos para
labores de arrastre de madera.**

**Ing. Verónica Villalobos Barquero.
Ing. Alejandro Meza Montoya.**

JUNIO, 2017

***LOS BÚFALOS SON, EN COMPARACIÓN CON LA ESPECIE BOVINA, LO QUE
UNA PIEDRA PRECIOSA EN BRUTO ES FRENTE A OTRA TALLADA. Jonas
Camargo de Assumpcao***

El presente manual fue diseñado con el objetivo de dar a conocer las pautas y necesidades prácticas durante el amansamiento de los búfalos de agua y el entrenamiento para el trabajo de arrastre de madera de plantaciones forestales.

Los capítulos que se estudiarán contienen una guía de fácil lectura y comprensión acerca del entrenamiento de búfalos de agua en labores de arrastre de madera, además se analizará el comportamiento de estos animales y sus capacidades en cuanto a los subproductos que ofrecen, aparte de las labores en las actividades forestales.

Tabla de contenido

CAPÍTULO I – Introducción.....	67
CAPÍTULO II – Características físicas del búfalo de agua (<i>Bubalus bubalis</i>).....	68
CAPÍTULO III – Características de selección de un animal de trabajo.....	69
Raza	69
Características físicas	71
CAPÍTULO IV – Entrenamiento.....	72
Colocación de la argolla	73
Amansamiento	74
Adiestramiento	74
⇒ Aperos.....	76
⇒ Aditamentos	77
○ Sulky.....	78
○ Carreta	79
○ Pipante.....	79
CAPÍTULO V – Ventajas y limitaciones de los búfalos de agua como animales de trabajo en labores forestales.....	80
CAPÍTULO VI – Productos derivados del búfalo de agua (<i>Bubalus bubalis</i>).....	84
Búfalas para la producción de leche	84
Búfalos para la producción de carne.....	86
CAPÍTULO VIII – Referencias bibliográficas.....	88

CAPÍTULO I – Introducción.

La población mundial de búfalos de agua domésticos (*Bubalus bubalis*) alcanza unos 130 millones de animales. Esto representa casi una novena parte de la población de ganado vacuno existente en el mundo (Isuiza, López, y Pezo, 1996). Se sabe con certeza que los búfalos son uno de los animales domésticos más antiguos que existen, su origen data de hace 5 mil años. Actualmente Asia es el continente que concentra la mayor cantidad de búfalos; dentro de Asia, el país más representativo es la India, seguido por Pakistán y China (Almaguer, 2007).

Muchos investigadores afirman que los animales fueron domesticados en la India, en el Valle del Indo, luego se expandieron a otros continentes como África, Europa, siendo América el último continente donde fue introducido (Rosales, 2006). Aunque han transcurrido milenios desde su domesticación, el búfalo de agua conserva características deseables en una especie para establecer sistemas de producción que favorezcan el ambiente, la salud humana y la economía, frente a un ambiente natural tan transformado y en deterioro (Jiménez, 2011). 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), expandiéndose hasta llegar a Costa Rica en el año 1974.

Los primeros búfalos en Costa Rica llegaron gracias a una importación que hizo la Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica (JAPDEVA), con el objetivo de incorporar una nueva alternativa de producción animal para el atlántico costarricense. Para esa ocasión, se incorporó un hato compuesto por 18 hembras y 2 machos de la raza Bufalipso, sin embargo para el año 2009, la población bufalina de Costa Rica era de aproximadamente 1300 cabezas (Rosales, 2011). Gracias a su eficiencia productiva y reproductiva en condiciones adversas para el ganado de tipo vacuno, el búfalo se encuentra actualmente distribuido a lo largo de todo el territorio nacional. El presente manual tiene como finalidad dar a conocer las virtudes y características que posee el búfalo como animal de triple propósito: leche, carne y trabajo; pero más que eso dar a conocer las capacidades que posee como animal de tiro dentro del aprovechamiento de plantaciones forestales.

CAPÍTULO II – Características físicas del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*).

El búfalo de agua es un animal de múltiples propósitos: carne, leche y trabajo entre otros, se caracteriza también por ser un animal doméstico, es decir, un animal gentil, noble, tranquilo y amigo de aquel humano que sabe cómo tratarlo. Como animal de tiro se caracteriza por ser fuerte, con un temperamento delicado, sumamente inteligente y muy curioso.

Por las características trópicas en las que se encuentra Costa Rica, descritas en la Ficha País (Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación, 2016), el búfalo de agua se ha desarrollado muy bien, principalmente por ser un animal muy resistente a condiciones húmedas, siendo muy eficiente en labores forestales aún en condiciones anegadas en las que ninguna otra especie lo podría llegar a ser; razón por la cual la población de búfalos en Costa Rica se incrementa día con día. En nuestro país, ha tenido una amplia adaptabilidad distribuyéndose en zonas secas como Guanacaste, en climas fríos como Cartago y en zonas con precipitaciones altas como lo es el Caribe.

Esta raza animal se caracteriza por representar bajos costos para el pequeño productor pues su alimentación y sus cuidados se limitan a aspectos básicos. Los búfalos de agua aprovechan todo tipo de forraje, incluyendo aquellos pastos que son de muy baja calidad y que el ganado vacuno no utiliza. Barboza (2011) afirma que algunos científicos han empezado a recomendar y a usar el búfalo doméstico como un medio de bajo costo para controlar y prevenir el crecimiento incontrolado de plantas en humedales naturales luego de varios estudios realizados incluso en áreas silvestres protegidas, a favor de la naturaleza.

Por su peso, contextura y vida útil son animales ideales para trabajo de carga, tiro y tracción. La longevidad del búfalo es tres o cuatro veces mayor que la de la vaca; puede durar entre 25 a 30 años con una vida útil reproductiva de entre 15 y 18 años, llegando a pesar entre 600 y 1200 kilogramos. Según Torres (2009), el búfalo puede arrastrar una carga de hasta seis veces su peso corporal; estas cargas pueden ser movilizadas por 3-4 horas continuas o por 6-8 horas diarias con intervalos de descanso. En Costa Rica, el arrastre de madera se realiza en una jornada continua desde las 6:00 am y hasta las 5:00 pm, con intervalos de descanso cada hora. Sin embargo, el búfalo se deja descansar desde las 10:00 am hasta la 1:30 pm, horas en las que la radiación solar es más directa, pasadas la 1:30 de la tarde el animal vuelve a sus funciones de arrastre.

El búfalo es una especie adaptable a diferentes climas, condiciones y ecosistemas. Son animales con una capacidad de resiliencia muy alta, resistentes a enfermedades y parásitos, con la gran ventaja de que el barro en el que se bañan, así como el grosor de su piel, ayudan a protegerlos de los mismos.

En Costa Rica, los búfalos son animales poco conocidos por la población a pesar de que ya llevan más de 40 años en el mercado nacional desde su importación en 1974 realizada por la Junta de Administración Portuaria y de Desarrollo Económico de la Vertiente Atlántica de Costa Rica. Por su aspecto físico y gran tamaño son vistos como animales salvajes debido al desconocimiento de sus cualidades domésticas y dóciles. Son animales fuertes y versátiles, utilizados principalmente para las actividades agroforestales, caracterizados por sus habilidades en situaciones adversas tanto de clima como de pendientes fuertes de terreno. La cría de búfalos en Costa Rica ha ido aumentando y el consumo de su carne, leche y de todos los subproductos, se ha vuelto más común conforme pasan los años.

CAPÍTULO III – Características de selección de un animal de trabajo.

Raza

Dentro del género de los búfalos, se destacan principalmente el búfalo Africano salvaje y el búfalo Asiático. El primer género, representado por la especie *Syncerus caffer* (Figura 1), se encuentra presente en casi toda África central. De todas las especies de búfalos, es la más pesada, llegando a alcanzar hasta 11 toneladas (11000 kilogramos) y llegando a medir 1,5 metros; además, es la más fuerte y salvaje. Se distingue por la forma externa de sus cuernos que se encuentran desde la raíz hacia los lados y atrás. Los machos viejos presentan las bases extraordinariamente ensanchadas, aplanadas y cubiertas de gruesa rugosidad de modo que cubren toda la frente. Poseen abundante pelo sobre todo color pardo oscuro (Almaguer, 2007).



Figura 1. Búfalo Africano salvaje.



Figura 2. Búfalo Asiático domesticado.

Fuente Figura1: Asociación Argentina de criadores de búfalos, 2010.

Por otro lado, el segundo género está representado por la especie *Bubalus bubalis* (Figura 2), especie que estudiaremos en este manual, la cual es nativa de Asia. Se caracteriza por ser un animal doméstico, solo unas pocas manadas se mantiene en estado salvaje en la India e Indonesia. Presentan dos cuernos curvados hacia atrás, gran parte del cuerpo desprovisto de pelo y tiene un aspecto brillante y lustroso. Su peso oscila entre los 500 y 1500 kg y llega a medir hasta 1,8 m de altura desde la cruz hasta el suelo. Es capaz de vivir en zonas encharcadas, en ríos y en lagos gracias a las pezuñas anchas y extensibles que posee (Almaguer, 2007).

El búfalo doméstico o búfalo de agua (*Bubalus bubalis*) pertenece a la gran familia Bovidae, subfamilia Bubalinae, género *Bubalus* y especie *bubalis*. Este género incluye 19 razas de las cuales el Murrah, Mediterránea, Jafarabadi, Carabao, y Bufalipso son las 5 mundialmente más reconocidas (Rosales, 2006). Las razas Murrah, Bufalipso y más recientemente Mediterránea son las más comunes en nuestro país. Hoy en día en Costa Rica se puede encontrar una mezcla de estas razas, siendo los búfalos Murrah cruzados con Bufalipso, los más aptos para el trabajo en labores forestales.

El cuadro 1 muestra las cualidades y las características propias de cada una de estas 5 razas:

Cuadro 1. Características de las razas del género *Bubalus*.

Murrah	Posee cuernos cortos, delgados y pequeños, enroscados hacia atrás, piel negra o marrón, con pelos en la región del tórax, tienen pecho ancho y el dorso ligeramente curvo. La cola es larga con un anillo blanco en la borla. Está considerado como el búfalo más lechero, precoz y resistente a enfermedades. Los machos pueden llegar a pesar 1000 kilos mientras que la hembra 700.	
Mediterránea	De cuernos medianos, dirigidos hacia atrás y hacia los costados con las puntas cerradas hacia arriba y adentro, formando una media luna. La cara es larga y angosta, el cuerpo es ancho en relación con su largo y las patas son cortas y robustas. La cruz es prominente. En general es un animal compacto y musculoso. Tienen una buena conformación lechera y carnífera. Los machos pesan de 700 a 800 kilos y las hembras unos 600.	
Jafarabadi	Es la raza de mayor tamaño, de enorme capacidad torácica, lo que hace muy apta para producir leche ya que además tiene excelente conformación de ubre. Tiene un hueso frontal pesado y cuernos que descienden a los costados de la cara, delante de las orejas, terminando en un rulo. Excelentes productoras de carne. Su peso va de 700 a 1500 kilos en los machos y de 650 a 900 en las hembras.	
Carabao	Mejor conocido como búfalo de pantano, es un animal con cachos largos, poco corpulento, de frente plana y ojos predominantes. Utilizado como animal de trabajo, de tracción y productor de carne. Son animales muy nerviosos y propensos a formar problemas. Los machos pesan entre 600 y 700 kilos y las hembras pueden llegar a pesar 500.	
Bufalipso	Estos provienen de animales mestizos, su nombre se deriva de la unión de las palabras búfalo y calipso, este último el nombre de un baile típico de Trinidad-Tobago. Es un cruzamiento seleccionado para la producción de carne y leche. Los machos pesan entre 600 y 900 kilos y las hembras entre 450-500.	

Fuente: Asociación Argentina de criadores de búfalos, 2010.

Características físicas

Las características físicas y biológicas de los futuros búfalos de trabajo determinarán en gran medida el rendimiento en las labores que realizarán. Algunas de las características evaluadas al momento de elegir un animal de trabajo deberán ser:

- **Contextura:** Se busca que el pecho del animal sea ancho ya que es con el pecho con el que ejercen la fuerza. Debe ser un animal con patas cortas y pezuñas anchas que tengan buen agarre en lugares con lodo.
- **Cuernos:** El tamaño y forma de los cuernos depende de la raza del animal. Es preferible que no sean muy grandes y que no tengan una posición muy abierta para evitar cualquier tipo de daño al momento de amansar al animal.

- Patas: Serán un criterio determinante para decidir si el animal califica o no para realizar labores forestales. Deben ser patas cortas y con los huesos bien desarrollados de manera que logren soportar el peso del animal junto con la carga de madera que transportará.



Figura 3. Características físicas deseables en los animales de trabajo.

Es importante comprender que además de las características descritas anteriormente, el búfalo de trabajo debe ser un animal totalmente sano, sin deformaciones ni enfermedades que le impidan en un futuro realizar correctamente las labores para las cuales fue entrenado.

CAPÍTULO IV – Entrenamiento.

El entrenamiento de un animal de trabajo está compuesto por dos grandes etapas: el amansamiento y el adiestramiento.

Antes de la etapa de adiestramiento, el animal debe acostumbrarse a la presencia de los humanos por medio de prácticas que lleven a amansarlo. Como lo expresan Cordero, Frisk y Dykstra (1995), en aprovechamientos forestales pequeños, los animales de trabajo están en contacto frecuente con varias personas como el sierrero; mientras que en explotaciones grandes, deben de estar en contacto además, con otras tecnologías de aprovechamiento forestal como un tractor agrícola o tractor de oruga entre otros. En estos casos, el búfalo deberá ser capaz de convivir con personas, ruidos y condiciones de estrés propias de la actividad forestal.

Es importante visualizar, a una temprana edad, los animales que serán entrenados. Cuando se tiene certeza de que el animal es un fuerte candidato para ser entrenado se debe proceder a separarlo de la manada con el objetivo de que el animal se identifique más con las personas y menos con la manada. La separación debe hacerse desde pequeños, al menos un par de horas en la mañana y un tiempo similar por la tarde todos los días con el fin de acostumbrarlos a estar solos. Cuando el animal se encuentra separado, es necesario que la persona encargada del adiestramiento se acerque a él y le suministre agua y comida de manera que el animal pueda ver en el bufalero confianza. Desde una edad temprana, se recomienda que sea antes del año de edad, y justo antes de iniciar con el entrenamiento del animal, se procede a colocar la argolla.

Colocación de la argolla

Para un mejor dominio del animal durante el entrenamiento y más adelante durante la ejecución de las actividades forestales, se le coloca una argolla en la nariz. El argollado se ejecuta semanas antes de que el búfalo inicie el proceso de adiestramiento y consiste en perforar la nariz del animal y colocar una argolla de algún metal como el cobre para que la herida no se infecte. El aro rompe un tejido de las fosas nasales llamado tabique el cual es muy sensible, lo que ayuda a manejar con mayor facilidad a los búfalos. Pasando una soga dentro de la argolla, como se observa en la figura 4 y tirando ligeramente de ella se tendrá mayor dominio sobre el búfalo. La argolla deberá ser utilizada con muy poca frecuencia y en las ocasiones estrictamente necesarias, evitando que se genere un cayo en la nariz del animal y el objetivo final del argollado no se cumpla. El objetivo del argollado nunca será maltratar ni exigir al animal más de su capacidad y su fuerza.



Figura 4. Argolla utilizada en los animales de trabajo.

Amansamiento

Como primer paso, es importante que cada animal tenga un nombre corto y único con el que será llamado por el resto de su vida, esto facilitará el proceso de aprendizaje. El amansamiento inicia en los ratos en los que el animal es separado de su manada, durante esas horas se inicia el proceso amarrando al bucalero de un árbol o una cerca de manera que se acostumbre al contacto con la persona que será la encargada de su adiestramiento. Esta primera tarea es de gran importancia ya que si el animal es golpeado o maltratado puede quedar traumatado, impidiendo o dificultando su entrenamiento y su futuro desempeño como animal de trabajo.

Durante esta etapa, que puede durar de uno a tres meses, el bucalero quien es la persona encargada de trabajar diariamente con el animal y de brindar las órdenes, será el responsable de tranquilizar al búfalo y de acostumbrarlo al contacto humano. Los movimientos que realice el bucalero deben ser lentos, constantes y deben realizarse, en primera instancia, en lugares del cuerpo en donde el búfalo pueda observar en todo momento lo que la persona hace, evitando que éste se asuste. En cada acercamiento, el bucalero deberá repetir constantemente el nombre del animal hasta que el búfalo se identifique. El procedimiento debe repetirse todos los días o cada dos días hasta que el bucalero logre ganar la confianza del animal.

Una manera práctica de que el bucalero gane la confianza del búfalo es proporcionando alimento, sales o minerales a manera de premio por la labor realizada día a día. Luego de estar amarrado por algunas horas, es importante que el bucalero sea quien le suministre la comida y el agua, con el objetivo de que el búfalo reconozca en él a un amigo. Una vez cumplida la fase de amansamiento y si el búfalo demuestra comportamientos tranquilos, se procede a realizar el adiestramiento.

Adiestramiento

El objetivo del adiestramiento es lograr que durante el proceso los animales aprendan a obedecer las órdenes necesarias para realizar un determinado trabajo, en este caso, el arrastre de madera en los aprovechamientos forestales de plantaciones; órdenes que son impartidas por la persona que los dirige. Las órdenes son palabras únicas para cada una de las acciones que el búfalo debe realizar, por ejemplo: adelante, atrás, doble a la derecha, doble a la

izquierda, detenerse, entre otras. Según Mora (2016), no importa si el vocabulario es diferente al empleado por algún otro bufalero de la zona o por los boyeros, lo trascendental es que la persona encargada del adiestramiento utilice siempre la misma palabra escogida para cada una de las acciones específicas evitando confusiones en el animal. Además, el domador deberá ser el mismo para un mismo animal, es decir, el proceso de adiestramiento será efectivo y rápido si el búfalo sólo debe acostumbrarse a un único domador. Posterior a esta etapa ya el animal tendrá la capacidad de trabajar con diferentes bufaleros.

El proceso de adiestramiento es largo y requiere de mucha paciencia por parte del bufalero. La duración del adiestramiento, la cual se estima en siete meses, dependerá de los siguientes factores:

- Edad: entre más joven inicie el bucerro con el adiestramiento, más fácil será dicho proceso. Una edad óptima para iniciar el adiestramiento está entre el año y medio y los dos años.
- Carácter: es importante que el futuro animal de trabajo muestre un carácter fuerte ya que con ese brío realizarán las labores de arrastre de madera, sin embargo entre mayor sea el temperamento del búfalo, mayor será la duración del proceso de aprendizaje.
- Capacidad de aprendizaje: el proceso de aprendizaje es diferente incluso para los animales de una misma especie y una misma edad.
- Experiencia del adiestrador: no toda persona, aunque haya trabajado anteriormente con búfalos, será capaz de adiestrar a este animal para realizar labores forestales. La experiencia, destreza, tono de voz, paciencia, actitud y carácter, son características que deberá poseer el domador para no alargar el tiempo de adiestramiento.

Dentro del proceso el búfalo deberá aprender a convivir con las personas en un ambiente laboral, aprender a caminar, a utilizar los aditamentos, a acostumbrarse a los horarios de trabajo, entre otras cosas.

⇒ **Aperos:**

Uno de los aspectos que toma más tiempo es lograr que el búfalo utilice los aditamentos necesarios para el transporte de madera. Los animales deberán adaptarse a los aperos, a su peso, al procedimiento de ponerlos y de quitarlos, además en el caso de los búfalos utilizados en Costa Rica, deberán aprender a caminar con el “Sulky” o la carreta que facilita el transporte de madera en trozas. Los aperos utilizados por los búfalos (figura 5) son de bajo costo de adquisición y hechos empíricamente por los mismos productores y criadores de búfalos, algunos de los aperos son los siguientes:

- La pechera: es la que sostiene todo el conjunto de aperos. Conformada casi siempre por una llanta de hule cortada a la mitad y una serie de cadenas envueltas en una manguera para evitar el contacto directo con la piel del animal. La llanta va colgada al cuello y desde la llanta salen las cadenas que amarran el sillín y el freno. La pechera transmite la fuerza que ejerce el animal para poder mover las trozas, es decir, como el animal hace la mayor cantidad de esfuerzo con el pecho, es por medio de la pechera y las cadenas que están sujetas a ésta que logra arrastrar los fustes en la dirección que él se mueve.
- El sillín: se le conoce con ese nombre al aditamento que va colocado encima del animal que tiene como función mantener el freno y la pechera en su lugar de manera que puedan cumplir con la tarea establecida para cada uno.
- El freno: el freno impide que las trozas que están siendo arrastradas golpeen al búfalo en los momentos en los que el animal se detiene o bien cuando el arrastre de madera se realiza pendiente abajo. La correa del freno rodea los cuartos traseros del animal y cada uno de sus extremos va amarrado al sillín.
- El balancín: este aditamento es el utilizado para realizar las labores de arrastre de madera, es una barra de acero que está sujeta por una cadena en cada extremo y estas a su vez se sujetan a la pechera, incluye un gancho en el medio de la barra del cual se sujeta la cadena o mecate que amarrará la carga de madera.

- Las cadenas: las cadenas utilizadas van aseguradas de un extremo a la pechera, mientras que en el otro extremo sujetan el balancín que es el aditamento al cual se enganchan la cadena que amarra las trozas a ser arrastradas. En su mayoría son cadenas de metal, no obstante podría ser mecate.
- Pelero: se le conoce como pelero al cobertor o harapo sobre el cual va colocado el sillín. Su principal función es proteger la piel del animal de la fricción causada por el sillín durante el arrastre de madera.

Antes de iniciar con las tareas de arrastre, es importante que el búfalo haya utilizado los aperos como mínimo un mes antes de iniciar con el trabajo. Los aperos se le colocan al animal todos los días y se deja un par de horas que el animal camine libremente para que conozca y se identifique con cada uno de ellos.



Figura 5. Aperos utilizados para el arrastre de madera de plantaciones forestales.

⇒ **Aditamentos:**

El objetivo de esta fase del adiestramiento es que los animales se familiaricen con los aditamentos que se utilizan en el sector forestal para el arrastre de madera. El proceso de entrenamiento es similar para el sulky, la carreta y el pipante. Lo primero es que el animal conozca cada uno de los aditamentos, los sienta y entienda cómo caminar con ellos.

La fase de familiarización ronda el mes, sin embargo el entrenamiento es constante y podría durar años ya que todos los días el animal descubrirá y aprenderá algo nuevo, además perfeccionará las señales ya aprendidas. Durante ese mes el búfalo cargará con los aditamentos de manera que el ruido o el movimiento no sean problemas al momento de la incorporación de las trozas de madera al entrenamiento.

Posterior al mes de familiarización, se coloca una ligera carga para que el búfalo la arrastre en distancias y lapsos cortos así como en condiciones favorables, para luego ir aumentando paulatinamente el peso de la carga y las distancias de arrastre hasta llegar a los 100 metros que es la distancia más larga a la que se debería poner a arrastrar a los búfalos si se desea obtener buenos rendimientos. Dentro del proceso el búfalo recibirá órdenes de cómo virar a la derecha, a la izquierda e incluso cómo caminar hacia atrás con los aditamentos; es importante que el animal comprenda que la fuerza para arrastrar gran cantidad de trozas debe hacerla con el pecho principalmente y no con la cabeza. Al final de 3 meses el animal estará listo para arrastrar madera con ayuda de un sulky o de una carreta.

- **Sulky:**

Este primer aditamento es el más utilizado en el sector forestal para el arrastre de madera en distancias largas. El sulky es una especie de arco de madera compuesto por dos timones que van amarrados en cada uno de los costados del animal (Figura 6) y cumple la función principal de elevar los fustes del suelo de manera que se disminuya la fricción entre la madera y el suelo.



Figura 6. Sulky utilizado para el arrastre de madera de plantaciones forestales.

Durante el adiestramiento el bufalero deberá enseñarle al búfalo cómo caminar con el sulky, cómo virar hacia los lados y cómo caminar hacia atrás de manera que el sulky se acomode entre los fustes colocados en los patios de acopio y carga. La importancia de este aditamento radica en que facilita en gran medida el arrastre de las trozas. Para que sus ventajas sean aprovechadas, el Sulky, a diferencia de las cadenas, debe utilizarse en distancias largas y con una mayor cantidad de fustes por carga.

- Carreta:

La carreta (Figura 7) es otro de los aditamentos utilizados en el sector forestal, su función principal es transportar madera en troza, generalmente en dimensiones pequeñas, desde la plantación hasta un aserradero cercano o desde adentro de la plantación hasta un patio de acopio cuando las condiciones de clima y de terreno lo permiten. Durante la utilización de la carreta el animal deberá ser entrenado para sobrellevar gran cantidad de peso en distancias que podrían superar un kilómetro.



Figura 7. Carreta utilizada para el arrastre de madera de plantaciones forestales.

- Pipante:

Se conoce como pipante a una placa de metal cuya parte frontal está ligeramente curvada hacia arriba, de manera que se deslice sobre el suelo y no se incruste, disminuyendo la fricción durante el arrastre de madera. Si bien el pipante no es utilizado con mucha frecuencia, como parte del adiestramiento se deberá enseñar al búfalo a manejar este aditamento. Los pipantes son comúnmente utilizados para transportar pequeñas cantidades de madera en troza, en condiciones de terreno muy adversas para el búfalo (Figura 8).



Figura 8. Pipante utilizado para el arrastre de madera de plantaciones forestales.

El adiestramiento de los búfalos de agua para labores de arrastre de madera no se completa en un tiempo determinado, es decir, en cuestión de un año el animal será capaz de realizar la tarea para la cual fue entrenado sin embargo el adiestramiento resultará una actividad permanente en el tiempo ya que día a día surgen nuevas tareas que podrán ser realizadas aplicando la fuerza animal. El adiestramiento y la paciencia del bufalero deberán ser constantes en el tiempo.

CAPÍTULO V – Ventajas y limitaciones de los búfalos de agua como animales de trabajo en labores forestales.

Sí bien es cierto los búfalos de agua han sido utilizados en Costa Rica como animales de trabajo desde hace más de cuatro décadas, su expansión o reconocimiento como una tecnología eficiente dentro de las labores forestales se limita a la poca experiencia de los productores en el manejo de estos animales de trabajo. Sin embargo un estudio desarrollado por Isuiza *et al* (1996) señala las grandes ventajas que tienen los búfalos de agua sobre otros animales como los bueyes o los caballos, entre las cuales destacan: su robustez, la distribución del peso corporal sobre los cuartos posteriores, sus grandes cascos y la enorme flexibilidad de sus cuartillas y cernejas, lo que les permite sobrepasar más fácilmente los obstáculos que se presentan en las plantaciones forestales.

Contrario a lo que se cree, el vigor y la fuerza de un búfalo crece conforme aumenta su peso corporal llegando a trabajar hasta 25 años y a pesar hasta 1000 kilogramos, presentando sus mejores rendimientos entre los 8 y 18 años.

Una de las grandes ventajas que presentan los búfalos de agua es la adaptabilidad. Se sabe que el búfalo trabaja mejor en ciertas condiciones climáticas, sin embargo, son capaces de adaptarse a las condiciones de clima y terreno que se les presenten. Las inundaciones propias de las condiciones climáticas de Costa Rica obligan a los ganaderos a mover el ganado vacuno a otras tierras, problema que no se tiene con los búfalos de agua pues el barro y el agua son parte de su hábitat natural. Algunas otras pruebas de adaptabilidad las demuestran los búfalos ubicados en la región de Cartago en donde les crece el pelo más de lo normal protegiéndolos del frío. En Guanacaste, por ejemplo, existen gran cantidad de búfalos de agua trabajando en labores de arrastre de madera a los que se les provee de suficiente agua y lodo para que puedan mantener sus rendimientos día a día.



Figura 9. Condiciones de trabajo de los búfalos de agua.

Otras de las ventajas es la alimentación. Los bufaleros afirman que estos animales no son exigentes en su alimentación, ya que además de las sales y vitaminas necesarias para que un animal se mantenga saludable para realizar sus labores, los búfalos de agua se caracterizan por alimentarse de variedades de pastos muy comunes y de baja calidad que a menudo son rechazados por el ganado vacuno, y es que según Simón y Galloso (2011), el búfalo presenta una alta eficiencia en la utilización de los nutrientes, datos que son reforzados por Muñoz (2002) como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Diferencias en la digestibilidad entre la vaca y la búfala.

Característica	Vaca (<i>Bos</i>)	Bufala (<i>Bubalus</i>)
Digestibilidad para paja de trigo	24.3 %	30.7 %
Digestibilidad para paja de arroz	64.7%	79.8%
Digestibilidad para la celulosa de Algunas especies de trébol	34.6 %	52.2 %

Fuente: Muñoz (2002).

Aparte de alimentarse, el búfalo mantiene la plantación limpia, sin vegetación, evitando que se enmonte y proporcionando al productor bajos costos de mantenimiento y un ahorro en mano de obra por la chapia de las plantaciones. Por esta razón el búfalo es considerado por los productores como animales rompe finca, es decir, animales ideales para renovar pasturas descuidadas y restaurar fincas olvidadas.



Figura 10. Alimentación de los búfalos de agua

La longevidad de los búfalos de agua sin duda se convierte en otra gran ventaja competitiva que presentan sobre los bueyes u otros animales de trabajo. Se calcula que los búfalos pueden vivir más de 30 años, de los cuales de 15 a 20 años están en condiciones óptimas para trabajar mientras que el ganado vacuno puede llegar a vivir de 10 a 12 años de los cuales puede trabajar un máximo de 8. En las condiciones citadas anteriormente las búfalas llegan a reproducirse más veces que las vacas, con la ventaja de que pueden trabajar incluso durante el periodo de lactancia mientras que en las labores del sector forestal, las vacas no cumplen ninguna función productiva.

Aunque el fin último no es la comparación entre las tecnologías de arrastre, sobresale como una limitante el hecho de que el búfalo de agua, al igual que los bueyes, presenta cantidades de producción de madera diaria muy bajas si se comparan con la tecnología mecanizada. Estos animales son sumamente fuertes debido a su peso corporal, sin embargo son muy lentos a la hora arrastrar madera. Anudado a esto, por ser un animal “de agua” no es recomendable que trabaje las horas en las que la incidencia del sol es directa, de esta manera el búfalo trabaja de 6:00 am a 10:00 am, descansa de 10 am a 1 pm y vuelve a trabajar de 1:00 o 1:30 pm a 5 pm. Es necesario que durante esas “horas sol” el animal permanezca en la sombra y con suficiente agua que le permita recuperarse. Es por esta razón que cuando se ejecuta el aprovechamiento forestal se debe planear adecuadamente las pistas de saca y el orden del aprovechamiento de tal forma que el búfalo no quede expuesto al sol, una de las recomendaciones es dejar en pie los árboles que van justo al lado de las pistas para que provean de sombra el paso del animal por las pistas. De la Cruz-Cruz, Maitre-Guichard, Gasperín-Marín, Guerrero-Legarreta y Mota-Rojas, (2014) mencionan que la exposición de los búfalos a temperaturas elevadas provocan una serie de cambios drásticos en sus funciones biológicas y que estos cambios resultan en deterioro de la producción, rendimiento y en su reproducción.

Fuera del ámbito de trabajo, el búfalo tiene la gran limitante de ser un animal dominante por naturaleza. En el hato de un productor puede haber bucerros más no búfalos jóvenes que representen competencia para el macho reproductor de la manada. A pesar de su docilidad, los búfalos defienden a las hembras y no toleran la presencia de otro macho cerca de ellas, lo que representa un problema cuando lo que se busca es aumentar el número de los hatos. En el sector forestal la desventaja se muestra cuando se desea realizar un aprovechamiento intensivo y se necesitan más de dos búfalos en la misma plantación, los animales deben tener una distancia considerable entre sí y preferiblemente que no lleguen a hacer contacto visual para evitar riñas.

CAPÍTULO VI – Productos derivados del búfalo de agua (*Bubalus bubalis*).

Los búfalos de agua son una especie estratégica y sumamente valiosa para el pequeño productor, conocido por ser un animal de triple o más propósitos: trabajo, leche y carne. Si bien es cierto en Costa Rica y en muchos lugares del mundo los subproductos derivados del búfalo no son reconocidos, su consumo y distribución vienen en aumento por las grandes ventajas que tienen sobre los subproductos derivados del ganado vacuno, tanto es así que en los últimos 30 años el crecimiento de la producción de leche de búfala fue del 248,4%, en cambio la leche de vaca en ese mismo periodo apenas alcanzó el 40,5%, de cabra fue del 105,4% y la de oveja del 40,0%, lo que señala indiscutiblemente la importancia de la evolución de la lechería bubalina (Patiño, 2011).

Búfalas para la producción de leche

Según Khajarern y Khajarern (1990), la leche de búfala posee 3 veces más materia grasa que la del bovino, aproximadamente 6-16 %, produciendo de 7- 12 litros de leche diarios (equivalente a 21-36 litros de leche bovina, por el tenor de grasa), teniendo 30-40 % más de calorías que la de vaca, colocando la leche de búfala en una mejor posición que la de vaca. La leche de búfala se diferencia de la de vaca en el color y en el sabor ya que es absolutamente blanca por tener vitamina A, espesa y de sabor un poco más dulce, una leche muy agradable al paladar.

Se destaca por ser una leche muy saludable, con menor cantidad de agua, mayor cantidad de proteínas, menor colesterol, una excelente fuente de vitamina A y baja en sales minerales. De la misma manera que con la leche de vaca, existe una inmensa gama de subproductos como queso, queso crema, dulce de leche, leche condensada, helados, yogurt y subproductos de uso personal como jabones, cremas, exfoliantes y mascarillas entre otros.

La calidad de la leche se mide según su composición láctea, en especial los porcentajes de grasa, Simón y Galloso (2011) obtuvieron mediante un estudio datos de grasa, proteína, lactosa y sólidos, los resultados se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Comparación de la leche bubalina con la de otras especies (%).

Tipo	Grasa	Proteína	Lactosa	Sólidos totales
Búfala	7,64	4,36	4,83	17,96
Vaca europea	3,90	3,47	4,75	12,82
Cebú	4,97	3,18	4,59	13,45
Humana	3,90	1,30	7,00	12,45

Fuente: Simón y Galloso (2011).

Por su parte Muñoz (2002) señala que la mayor diferencia de la leche de búfala se presenta en el contenido de grasa, que está entre 7.1% y 9.6% (de 2.5 a 3 veces mayor que la de vaca) y en el contenido de sólidos totales, que está entre el 16.8% y 20.8%, lo que la hace una materia prima de excelente calidad para la producción de derivados lácteos como queso, yogurt, dulces, etc. Por su composición esta leche es considerada de alto valor energético, 90 kcal/100 g en comparación a las 60-70kcal/100 g de la leche de vaca, justificado por las cantidades mayores de las proteínas del suero, la presencia de ácidos grasos, las cantidades de calcio y la presencia de fósforo (Hurtado-Lugo, Cerón-Muñoz, Lopera, Bernal, y Cifuentes, T, 2005)

De los derivados lácteos, el más cotizado es el queso Mozzarella, destacado por el alto rendimiento ya que con tan sólo 5 litros de leche de búfala se logra obtener 1 kilo de este tipo de queso, mientras que para obtener 1 kilo de queso a partir de leche de vaca, se necesitan 12,5 litros de leche. Es un queso de origen italiano y producido exclusivamente con leche de búfala lo que aumenta su valor en el mercado ya que el precio de la leche de búfala en el mercado internacional llega a ser hasta 3,5 veces el valor de la leche de vaca, significando para el productor y criador un incremento significativo en sus ganancias.

Una de las grandes ventajas que presenta la leche de búfala con respecto a la de vaca es que se ha comprobado que incluso las personas que se caracterizan por ser intolerantes a la lactosa, pueden consumir sin ningún problema la leche de búfala.

En cuanto a las raza productoras de leche, un estudio realizado por Patiño (2011) menciona que la principal raza empleada para la producción de leche en América es la Mediterránea, seguido de la Murrah y Jafarabadi, las cuales cuentan con características necesarias para una buena producción de leche como por ejemplo que las búfalas son de gran tamaño, tienen las ubres bien desarrolladas con una excelente conformación, con venas bien marcadas y cuartos bien cuadrados.

Búfalos para la producción de carne

En cuanto a la producción de carne y comparándolo con el ganado vacuno, una característica del búfalo es la precocidad, esto quiere decir que produce mayor cantidad de carne en menos tiempo y a un menor costo. No obstante Muñoz (2002) destaca que lo más importante de esos incrementos de peso es que el búfalo los puede lograr alimentándose de gramíneas de baja calidad y con otras plantas que los vacunos rechazarían o en el mejor de los casos sólo les alcanzarían para sobrevivir, no así para ganar peso.

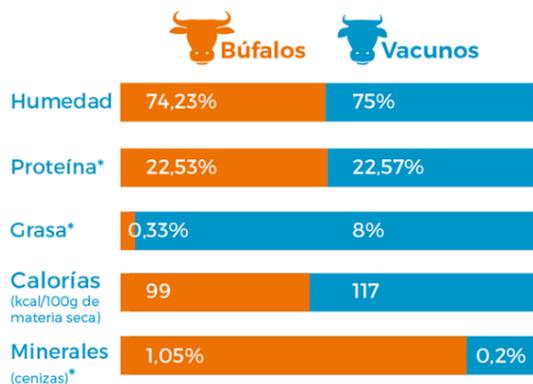
Físicamente, la carne de búfalo es magra y un poco más oscura que la carne de res, la grasa muy blanca contrasta con el color amarillento de la grasa que posee la carne del ganado vacuno. Almaguer (2007) menciona que la carne de los búfalos es muy parecida en cuanto a sus propiedades químicas y físicas en comparación con la carne vacuna, no tiene hilos de grasa entre las masas y su contenido de colesterol es 40 % menor. Y un aspecto importante es que, en pruebas de degustación es muy difícil diferenciar la carne de búfalo de la carne de un vacuno de la misma edad.

Otra característica que hace diferente la carne de búfalo a la del vacuno es que la grasa, en su mayoría es subcutánea, en menor grado se localiza entre los músculos, lo que es saludable debido al menor contenido de colesterol (Muñoz, 2002).

Las características favorables de la carne de búfalo son atribuidas a la amplia gama de pastos que éstos ingieren, su rusticidad, su rápido crecimiento, la temprana edad a la que, las crías de búfalos para producción de carne alcanzan el peso de sacrificio pero sobre todo a la gran capacidad digestiva al aprovechar con mayor eficiencia las pasturas, presentando mejores tasa de conversión alimenticia (Gómez, Muñoz, y Hurtado-Lugo, 2007).

Sin embargo un estudio realizado por Herrera (2017), mediante técnicas de ultrasonido que se aplican al animal vivo y con los datos recopilados en la planta de procesamiento se confirmó que el rendimiento de producción de carne del búfalo es hasta un 10% menor que el rendimiento del bovino esto se debe a que la cabeza y el cuero son significativamente más pesados en este animal. Algunas de las características químicas comparativas entre ambos tipos de carne se muestran en la figura 11.

Composición química de la carne de búfalos y vacunos



*Como porcentaje de la materia seca total. Valores máximos reportados para vacunos en la literatura y valores de búfalos de agua Murrah x Mediterráneo entre 18 y 22 meses de edad. Fuente: León 2010, Escuela de Zootecnia, UCR.

Figura 11. Composición química de la carne de búfalos y vacunos.
Fuente. Herrera, 2017.

La carne de búfalo es considerada como ‘la solución al abastecimiento de proteínas rojas del futuro’: contiene un 40% menos de colesterol, 55% menos de calorías, 11% más de proteínas, 10% más de minerales y casi 100% menos de grasa intramuscular. (Quintero, 2012).

CAPÍTULO VIII – Referencias bibliográficas.

- Almaguer Y. 2007. El búfalo, una opción de la ganadería. *Revista electrónica de veterinaria (REDVET)*, volumen VIII número 8. Cuba. Recuperado de <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080807/080709.pdf>
- Asociación Argentina de Criadores de Búfalos. (2010). Proceedings of the 9th World Buffalo Congress. Recuperado de <http://bufalos.com.ar/>
- Barboza, G. J. (2011). Bondades ecológicas del búfalo de agua: camino hacia la certificación. *Revista Tecnología en Marcha*, 24(5), 82.
- Cordero, W., Frisk, T., y Dykstra, D. (1995). Uso de bueyes en operaciones de aprovechamiento forestal en áreas rurales de Costa Rica. Estudio Monografico de Explotacion Forestal (FAO). no. 3.
- De la Cruz-Cruz, L; Maitre-Guichard, E; Gasperín-Marín, J; Guerrero-Legarreta, I y Mota-Rojas, D. (2014). El bienestar del búfalo de agua en sistemas agrosilvopastoriles. Producción bufalina. Recuperado de <http://www.produccion-animal.com.ar/>
- Gómez, D. A. A., Muñoz, M. F. C., y Hurtado-Lugo, A. (2007). El búfalo como animal productor de carne: producción y mejoramiento genético. *Revista Lasallista de investigación*, 4 (2). Recuperado de <http://web.a.ebscohost.com>
- Herrera, J.I. (2017). Calidad y productividad de la carne de búfalo: sabor, suavidad y jugosidad. Recuperado de <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2017/03/13/investigacion-confirma-buena-calidad-y-productividad-de-la-carne-de-bufalo.html>
- Hurtado-Lugo, N., Cerón-Muñoz, M. F., Lopera, M. I., Bernal, A., y Cifuentes, T. (2005). Determinación de parámetros físico-químicos de leche bufalina en un sistema de producción orgánica. *Livestock*. Recuperado de <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd17/1/hurt17001.htm>
- Isuiza, M., López, J., y Pezo, R. (1996). Estudio sobre el búfalo de agua en Jenaro Herrera. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/handle/minam/300>
- Jiménez, G. B. (2011). Bondades ecológicas del búfalo de agua: camino hacia la certificación. *Revista Tecnología en Marcha*, 24(5), 82.

- Khajarer, S., y Khajarer, J. M. (1990). Feeding swamp buffalo for milk production. Feeding dairy cows in the tropics. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/003/t0413e/T0413E10.htm>
- Quintero, A. (2012). Los búfalos son más rentables que el ganado bovino. Informe técnico. Recuperado de <http://www.larepublica.co>
- Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación. (2016). Oficina de Información Diplomática: Ficha País. República de Costa Rica. San José, Costa Rica. Recuperado de <http://www.exteriores.gob.es/>
- Mora, B. G. (2016). Comunicación personal. Criador y adiestrador de búfalos de agua. Aserradero El Búfalo, Sahara de Batán, Limón Costa Rica.
- Muñoz, M. (2002). Producción de búfalos: una alternativa para leche, carne y fuerza de trabajo. Facultad de zootecnia, Universidad Nacional Agraria de la Selva. Recuperado de <http://www.unas.edu.pe/revistas/index.php/revia/index>
- Patiño, E. M. (2011). Producción y calidad de la leche bubalina *Tecnología en Marcha*, Vol. 24, N° 5, Revista Especial 2011, P. 25-35.
- Rosales, R. (2006). El búfalo de agua en Costa Rica. Una alternativa para la producción de carne y leche. *Revista ECAG (Costa Rica)*.
- Rosales, R. (2011). Situación del búfalo de agua en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 24(5), 19.
- Simón, L., y Galloso, M. (2011). Presencia y perspectivas de los búfalos en Cuba. Pastos y Forrajes, N 34(1), 3-20. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v34n1/pyf01111.pdf>
- Torres, E. G. (2009). Búfalos: Una Especie Promisoria. Universidad Nacional de Colombia. 5pp. Recuperado de <http://www.produccion-animal.com.ar>

Anexo 6. Divulgación de los resultados del proyecto de investigación “Valoración y promoción de la utilización de búfalos de agua en labores de aprovechamiento de plantaciones forestales”: XIV Congreso Nacional Agropecuario, Forestal y Ambiental (CONAFA 2016) y Convención Internacional Agroforestal de Cuba. 7mo Congreso Forestal de Cuba (2017).





La Habana, 16 de febrero de 2017

Alejandro Meza Montoya
almeza@itcr.ac.cr

Estimado colega

El Comité Científico de la Convención Internacional Agroforestal Cuba 2017, 7mo Congreso Forestal de Cuba, III Congreso Internacional de Café y Cacao, VII Encuentro Internacional de Jóvenes Investigadores y Simposio de Apicultura, que tendrá lugar en el Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba, del 12 al 16 de junio de 2017, tiene el gusto de comunicarle que su ponencia titulada **EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS BÚFALOS DE AGUA EN EL APROVECHAMIENTO DE MADERA DE PLANTACIONES FORESTALES EN COSTA RICA**, ha sido aprobada para que sea presentada en el marco de dicho evento.

Esperamos poder saludarle en La Habana, atentamente.

Lic. Celia Guerra Rivero
PRESIDENTA
COMISIÓN CIENTÍFICA



Instituto
de Investigaciones
Agro-Forestales



La Habana, 24 de febrero de 2017

Ing. Verónica Villalobos Barquero, M.Sc; Investigadora vvillalobos@itcr.ac.cr
Ing. Alejandro Meza Montoya, MAE. Profesor – Investigador almeza@itcr.ac.cr
Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica.

¹Laboratorio de Epigenética y Eco-Agrobiotecnología. Departamento de Silvicultura, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción Concepción, Chile. Email: naguileramarin@gmail.com

²Laboratorio de Química de Productos Naturales, Universidad de Concepción, Concepción, Chile. Email: lubiariamariquedesg@gmail.com, jbecerra@udec.cl

Estimados colegas:

El Comité Científico de la Convención Internacional Agroforestal Cuba 2017, el 7mo Congreso Forestal de Cuba, el III Congreso Internacional de Café y Cacao, el VII Encuentro Internacional de Jóvenes Investigadores y el Simposio de Apicultura, que tendrán lugar en el Palacio de Convenciones de La Habana, del 12 al 16 de junio de 2017, se complace en comunicarles que su ponencia titulada, **PREDICCIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA OPERACIÓN DE ARRASTRE DE MADERA DE PLANTACIONES FORESTALES UTILIZANDO BÚFALOS DE AGUA (Bubalus bubalis)**, ha sido aprobada para que sea presentada de forma Oral en el marco de dicho evento.

Esperamos poder saludarlos en La Habana, atentamente.

Lic. Celia Guerra Rivero
Presidenta
Comité Científico



Instituto
de Investigaciones
Agro-Forestales



Anexo 7. Carta de recibido del artículo técnico sometido a la Revista Forestal Mesoamericana Kurú, para su revisión y posterior publicación, como medio de divulgación de los resultados obtenidos mediante este proyecto de investigación.



Cartago, 26 de enero del 2017

Respetados investigadores:

Alejandro Meza-Montoya¹
Verónica Villalobos-Barquero²

Hemos recibido su artículo titulado:

**MODELOS DE REGRESION PARA LA ESTIMACION DE PRODUCCION
OBTENIDA DURANTE UN ARRASTRE DE MADERA UTILIZANDO BUFALOS
DE GUA (*Bubalus bubalis*), EN PLANTACIONES DE MELINA, LIMON, COSTA
RICA.**

El mismo será sometido inmediatamente a los procedimientos de revisión establecidos por la Revista Forestal Mesoamericana Kurú. Oportunamente le enviaremos las resoluciones.

Le agradecemos mucho que nos seleccionara para difundir los resultados de sus investigaciones. Muy atentamente,

Braulio Vílchez Alvarado, M.Sc.
Escuela de Ingeniería Forestal
Revista Forestal Mesoamericana kurú,
director

Cc.: archivo

Anexo 8. Procedimiento para el cálculo del costo horario de un búfalo en la operación de arrastre de fustes de árboles de plantaciones forestales.

I. BASE DE CÁLCULO

A continuación se muestran los valores que sirven de base para el cálculo del costo horario.

DESCRIPCIÓN	MONTO O VALOR
Búfalo de 2 años de edad entrenado	₡ 3 000 000
Vida útil del búfalo	10 años
Valor de rescate del búfalo	₡ 1300/kg en pie
Forraje (80 kg/día)	₡ 3600/día
Cadenas	₡ 30 000
Vida útil de las cadenas	5 años
Valor de rescate de las cadenas	₡ 0
Aperos	₡ 60 000
Vida útil de los aperos	5 años
Valor de rescate de los aperos	₡ 0
Concentrado (2 kg/día)	₡ 560/día
Minerales (0.6 kg/día)	₡ 385/día
Vitaminas y desparasitante	₡ 38.53/día
Mano de obra (1 operario)	₡ 14 143.78/día (csi)
Tasa de interés	8%
Horas programadas de trabajo por año (200 días * 6 horas)	

II. COSTOS FIJOS:

1.1 Depreciación (D):

Corresponde a la pérdida de valor del animal por el paso del tiempo. Se calcula con el modelo de depreciación en línea recta de la siguiente forma:

$$D = \frac{P-s}{N}$$

Donde:

P: valor inicial del animal ya amansado y entrenado con una edad promedio de 3 años.

S: valor de rescate, corresponde al precio por kilo de carne en pie al final de la vida útil, se estima que un búfalo puede alcanzar los 900 kilos al terminar su vida útil.

N: vida útil del animal en años.

$$D = \frac{(\text{₡}3000000 - (\text{₡}1300 * 900\text{kg}))}{10} = \text{₡} 183000 / \text{año}$$

$$D = \frac{(\text{C} 183000 / \text{año})}{(1200 \text{ h/año})} = \text{C} 152.5/\text{h}$$

1.2 Costo de capital (CC):

Se refiere al dinero que se deja de ganar por decidir hacer la inversión de adquirir el búfalo. Se calcula multiplicando la inversión media anual por un porcentaje equivalente a los intereses (i) que se hubiese ganado en el periodo de vida útil del animal.

$$CC = \left[\frac{(P - S) * (N + 1)}{(2 * N)} + S \right] * i = \frac{(\text{C}3000000 - (\text{C}1300 * 900\text{kg})) * (10 + 1)}{(2 * 10)} + (\text{C}1300 * 900\text{kg})$$

$$CC = \left[\text{C} 2176500 / \text{año} \right] * 0.08$$

$$CC = \text{C} 174120 / 1200 \text{ h/año} = \text{C} 145.1 / \text{h}$$

1.3 Alimentación:

Corresponde al monto invertido en forraje, concentrado y minerales.

$$\text{Forraje} = \left[80 \text{ kg/día} * \text{C} 45/\text{kg} \right] * \frac{(365 \text{ días/año})}{(1200 \text{ h/año})} = \text{C} 1095/\text{h}$$

$$\text{Concentrado} = \left[2 \text{ kg/día} * \text{C} 280/\text{kg} \right] * \frac{(365 \text{ días/año})}{(1200 \text{ h/año})} = \text{C} 170,33/\text{h}$$

$$\text{Minerales} = \left[0,6 \text{ kg/día} * \text{C} 641,5/\text{kg} \right] * \frac{(365 \text{ días/año})}{(1200 \text{ h/año})} = \text{C} 117,07/\text{h}$$

1.4 Salud animal:

Hace referencia al mono invertido en vitaminas y desparasitante, los cuales son suministrados al animal de manera mensual.

$$\text{Vitaminas} = \left[10 \text{ mm/mes} * \text{C} 40/\text{mm} \right] * \frac{(12 \text{ meses/año})}{(1200 \text{ h/año})} = \text{C} 4/\text{h}$$

$$\text{Desparasitante} = \left[18 \text{ mm/mes} * \text{C} 42/\text{mm} \right] * \frac{(12 \text{ meses/año})}{(1200 \text{ h/año})} = \text{C} 7,56/\text{h}$$

1.5 Mano de obra:

Incluye el pago al trabajador junto con las cargas sociales que corresponden a un 44%. Se utiliza el salario mínimo para un peón establecido en la Ley para el año 2017.

$$MO = \text{C}9822,07\text{día} * 1,44\% = \text{C} 14143,78/\text{día}/6 \text{ h} = \text{C} 2357,29/\text{h}$$

III. COSTOS VARIABLES:

1.1 Depreciación de cadenas:

Corresponde a la pérdida de valor de las cadenas de arrastre por el paso del tiempo. Se calcula con el modelo de depreciación en línea recta de la siguiente forma:

$$D = \frac{P-s}{N}$$

Donde:

P: valor inicial de las cadenas.

S: valor de rescate, normalmente se estima en 0.

N: vida útil las cadenas.

$$\text{Depreciación de cadenas} = \frac{(\text{C}30000 - 0)}{5} = \text{C}6000 / \text{año} / (1200 \text{ h/año}) = \text{C} 5 / \text{h}$$

1.2 Depreciación de aperos:

Este valor toma en cuenta los implementos que utiliza el búfalo de agua para realizar el arrastre de madera, como por ejemplo: el sillín, la pechera y el freno y se calcula de la siguiente manera:

$$D = \frac{P-s}{N}$$

Donde:

P: valor inicial de los aperos.

S: valor de rescate, normalmente se estima en 0.

N: vida útil de los aperos.

$$\text{Depreciación de aperos} = \frac{(\text{C}60000 - 0)}{5} = \text{C}12000 / \text{año} / (1200 \text{ h/año}) = \text{C} 10/\text{h}$$

IV. COSTO HORARIO TOTAL

Costos fijos totales = ₡ 4048,85/h. programada

Costos variables totales = ₡ 15 /h. efectiva

% eficiencia = 58,12 %

Costos totales = ₡ 4048,85/h. programada + (₡ 15 /h. efectiva * 0.5812) = ₡ 4057,57/h.

V. COSTO DE PRODUCCIÓN

Costo horario total = ₡ 4057,57/h.

Producción = 1,13 m³/h

Costo de producción (₡/m³) = ₡ 3590,76/m³