

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE HARVESTER EN DOS SISTEMAS  
DE COSECHA FORESTAL

por

Ana Laura MÁRQUEZ LONG

TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo.

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2020

Tesis aprobada por:

Director:

-----  
Ing. Agr. MSc. Gonzalo García

-----  
Ing. Agr. PhD. Alejandro Olivera

-----  
Ing. Agr. PhD. Virginia Gravina

Fecha:

24 de enero de 2020

Autora:

-----  
Ana Laura Márquez Long

## AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Ingeniero Agrónomo Gonzalo García, por brindarme la oportunidad de desarrollar dicha investigación, así como su guía, seguimiento y apoyo durante la realización de la tesis.

A la empresa Montes del Plata por brindarme los datos a estudiar.

A la Ingeniera Agrónoma Virginia Gravina, por su apoyo y dedicación al momento del desarrollo del análisis estadístico correspondiente al presente estudio.

A la Lic. Sully Toledo, quien con mucha paciencia siempre estuvo dispuesta para las correcciones.

Especialmente a mi familia y amigos, que siempre me apoyaron incondicionalmente durante el transcurso de la carrera, siendo pilares fundamentales para lograr culminar con éxito la misma.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES .....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
1.1. <u>OBJETIVOS</u> .....	1
1.1.1. <u>Objetivos generales</u> .....	1
1.1.2. <u>Objetivos específicos</u> .....	2
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1. <u>COSECHA FORESTAL</u> .....	3
2.2. <u>MÉTODOS DE COSECHA</u> .....	4
2.2.1. <u>Método de corte a medida (cut to length)</u> .....	4
2.2.2. <u>Método de fuste entero (tree length)</u> .....	5
2.2.3. <u>Método de árbol entero (full tree)</u> .....	5
2.2.4. <u>Método de árbol completo (whole tree)</u> .....	5
2.2.5. <u>Método de chipeado (chipping)</u> .....	6
2.3. <u>MAQUINARIA FORESTAL</u> .....	7
2.3.1. <u>Feller buncher</u> .....	7
2.3.2. <u>Harvester</u> .....	10
2.3.3. <u>Forwarder</u> .....	12
2.4. <u>PRODUCTIVIDAD EN MAQUINARIA FORESTAL</u> .....	12
2.5. <u>NOMENCLATURA PARA ESTUDIOS DE LA PRODUCTIVIDAD EN TRABAJOS FORESTALES</u> .....	13
2.6. <u>TOMA DE DATOS A TRAVÉS DE COMPUTADORA A BORDO</u> .....	17
2.7. <u>VARIABLES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD EN COSECHA FORESTAL</u> .....	18
2.7.1. <u>Características del bosque</u> .....	19
2.7.2. <u>Características del terreno</u> .....	20
2.7.3. <u>Maquinaria</u> .....	21
2.7.4. <u>Operador</u> .....	21
2.7.5. <u>Producto procesado</u> .....	22
2.8. <u>ANTECEDENTES DE PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA FELLER BUNCHER - HARVESTER</u> .....	22
2.9. <u>HIPÓTESIS</u> .....	23
2.9.1. <u>Hipótesis nula (H<sub>0</sub>)</u> .....	23

2.9.2. <u>Hipótesis alterna (Ha)</u> .....	23
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	24
3.1. <u>CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO</u> .....	24
3.1.1. <u>Ubicación</u> .....	24
3.1.2. <u>Suelos</u> .....	26
3.1.3. <u>Clima</u> .....	27
3.1.4. <u>Características de los rodales</u> .....	28
3.2. <u>MATERIALES UTILIZADOS</u> .....	29
3.3. <u>MAQUINARIA UTILIZADA</u> .....	29
3.3.1. <u>Descripción técnica de los harvester</u> .....	30
3.3.2. <u>Descripción técnica del cabezal</u> .....	31
3.4. <u>SISTEMA DE TRABAJO DE LA MAQUINARIA UTILIZADA</u> .....	33
3.4.1. <u>Sistema de trabajo en establecimiento “La Alegría” (harvester)</u> .....	33
3.4.2. <u>Sistema de trabajo en establecimiento “Los Nietos” (feller buncher - harvester)</u> .....	34
3.4.3. <u>Sistema de trabajo del forwarder para ambos establecimientos</u> .....	34
3.5. <u>DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO</u> .....	34
3.5.1. <u>Metodología de análisis</u> .....	35
3.6. <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u> .....	35
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	37
4.1. <u>ANÁLISIS DE VARIANZA</u> .....	37
4.1.1. <u>Análisis general</u> .....	37
4.1.2. <u>Análisis específico</u> .....	38
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	41
6. <u>RESUMEN</u> .....	42
7. <u>SUMMARY</u> .....	43
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	44
9. <u>ANEXOS</u> .....	48

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Resultados de productividad de sistemas de cosecha CTL y feller buncher - harvester - forwarder .....	23
2. Detalle de los rodales estudiados del sistema A “Los Nietos” .....	28
3. Detalle de los rodales estudiados del sistema B “La Alegría” .....	29
4. Descripción técnica de los harvester .....	31
5. Descripción técnica cabezal cosechador .....	32
6. Estudio base de análisis de varianza arb.h <sup>-1</sup> .....	37
7. Productividad arb.h <sup>-1</sup> en función del vol./árbol.....	38
8. Efecto operador sobre la productividad arb.h <sup>-1</sup> .....	39
9. Productividad arb.h <sup>-1</sup> en función de los operadores .....	39
Figura No.	
1. Métodos de cosecha forestal. ....	6
2. Feller buncher de bandas, cabezal con sistema de corte de disco. ....	8
3. Feller buncher de neumáticos.....	9
4. Descripción del cabezal de corte del feller buncher.....	9
5. Harvester de ruedas. ....	10
6. Descripción del cabezal de corte de harvester. ....	11
7. Forwarder. ....	12
8. Nomenclatura para estudio de tiempo.....	17
9. Ubicación de los establecimientos evaluados. ....	24
10. Ubicación del monte del establecimiento “Los Nietos”. ....	25
11. Ubicación del monte del establecimiento “La Alegría”.....	25
12. Mapa CONEAT para establecimiento “Los Nietos”. ....	26
13. Mapa CONEAT para establecimiento “La Alegría”.....	27
14. Harvester Ponsse Ergo 8w con cabezal H7.....	30
15. Cabezal Ponsse H7 y sus principales partes.....	33

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años el sector forestal en Uruguay ha alcanzado una importante consolidación y desarrollo a nivel económico y social, con un marcado crecimiento desde la aprobación de la segunda ley forestal en el año 1987, convirtiéndose hoy en el primer rubro exportador del sector agropecuario.

Primer rubro exportador con 2.250 millones de dólares y un valor agregado actual equivalente al 3.7% del PIB; ejemplo de esto es la instalación de plantaciones forestales con valor record en el 2017 aumentando en superficie efectiva 71.705 hectáreas y alcanzando más de 1 millón en la actualidad, con un claro predominio del género *Eucalyptus* (85%) frente al género *Pinus* (15%), producto del aumento en la demanda global de celulosa de *Eucalyptus* dado las proyecciones en alza del mercado mundial de fibra corta y el interés por parte de UPM en crecer en el negocio de la celulosa en Uruguay (MGAP. OPYPA, 2018).

De esta forma, dentro del sector forestal los objetivos de producción se enfocan principalmente en la obtención de madera para celulosa y papel, siendo la pulpa de celulosa de suma importancia económica y representando un 77% (equivalente a 1.739 millones de dólares) del total de exportaciones del sector, ocupando el primer lugar en ranking de exportaciones de bienes del país (Uruguay XXI, 2018).

En este contexto, las operaciones de cosecha forestal se han mecanizado aceleradamente en la última década. Este crecimiento se debe a factores tales como, la necesidad en disminuir los riesgos de accidentes laborales y mejorar la salud ocupacional, la posibilidad de ejecutar operaciones para abastecer industrias que consumen grandes volúmenes de madera, y la necesidad de disminuir los costos; de manera de hacer que toda la cadena de operaciones forestales sea sustentable (Malinovski y Malinovski, 1998).

Con el fin de mejorar la eficiencia de operaciones de cosecha, son importantes la planificación, y la evaluación continua de operaciones. Para ello una herramienta muy útil son los estudios de trabajo y productividad, los cuales pueden generar información útil para mejorar las operaciones.

### 1.1. OBJETIVOS

#### 1.1.1. Objetivos generales

El objetivo es el estudio de productividad de harvester en cosecha forestal mecanizada, comparando dos sistemas de cosecha en métodos de corte a medida (CTL):

1. Sistema A, feller buncher y harvester.
2. Sistema B, harvester.

#### 1.1.2. Objetivos específicos

- ❖ Utilización de datos recolectados automáticamente por la cosechadora.
- ❖ Comparar la productividad en el harvester para ambos sistemas evaluados.
- ❖ Evaluar el efecto del operador y del volumen individual promedio de árboles cosechados sobre la productividad.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. COSECHA FORESTAL

Se entiende por cosecha forestal al conjunto planificado de actividades relacionadas con la corta, procesamiento y extracción de las trozas u otras partes aprovechables de los árboles, para su posterior transformación; considerando sus efectos a corto, mediano y largo plazo sobre los recursos naturales teniendo en cuenta las consideraciones sociales, ambientales y económicas (Daniluk, 2002).

Según Santos, citado por Soares (2010), la cosecha puede destacarse como una de las partes más importante desde el punto de vista técnico-económico, y envuelve las etapas necesarias para retirar la madera del bosque. Estas etapas conforme al contexto descrito y según Machado De Assis (2010), se dividen en corte, extracción, carga y transporte.

A continuación se presenta la descripción de las etapas citadas anteriormente por el autor:

- Corte: incluye las operaciones de apeo, desrame, trozado y preparación de la madera para el apilado. El apeo puede ser manual (con hacha o trozador), semi-mecanizado (motosierra) o mecanizada (cosechadoras forestales). El desrame y trozado es el corte de las ramas y el corte transversal del fuste en trozas respectivamente. Puede ser manual, semi-mecanizada o mecanizada. El descortezado es la remoción de la corteza del árbol. Para esta actividad los equipos utilizados pueden ser: descortezador manual con forma de cuña, descortezador mecánico portátil, descortezador mecánico de tambor rotativo o con el cabezal del harvester.

- Extracción: es el movimiento de la madera del local de corte hasta el borde de los caminos o cancha de acopio, esta etapa puede ser realizada de forma suspendida, semi-suspendida o por arrastre.

- Carga: tarea donde se coloca la madera sobre el vehículo de transporte, pudiendo ser el principal (desde la zona de apilado) o el de extracción.

- Transporte: tarea en la cual se lleva la madera del área de cosecha a destino: industrias, puertos, cancha de acopio intermedio.

Según Moreira (2000), la cosecha forestal es una de las operaciones de mayor costo. De esta forma, a través de la mecanización del proceso, es posible aumentar la productividad, reducir los costos y mejorar las condiciones de trabajo. A la vez que se puede mejorar la calidad de la madera cosechada (Machado, 2008).

La cosecha forestal se puede realizar de forma mecanizada (harvesters, feller-bunchers), semi-mecanizada (motosierras) o manual (hacha). Actualmente la forma manual está siendo menos utilizada, aunque se sigue empleando para producción de madera de uso doméstico (Moreira, 2000).

## 2.2. MÉTODOS DE COSECHA

El método de cosecha forestal es definido por el conjunto de operaciones individuales e interdependientes, que obtiene como resultados la madera cortada y transportado hasta el consumidor final.

Uusitalo y Pearson, citados por García (2018), dicen que se pueden clasificar los métodos de cosecha de acuerdo a como se procesa y extraen las trozas del rodal. A su vez, según la combinación de tecnologías (maquinaria) utilizado para cada método, se puede definir el sistema de cosecha forestal.

Según Machado, citado por Soares (2010), y de acuerdo con la clasificación Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), existen 5 métodos de cosecha que pueden ser clasificados de acuerdo a la forma en que la madera es manejada en la fase de extracción, al lugar donde se realiza el procesamiento final y el grado de mecanización, estos serían:

### 2.2.1. Método de corte a medida (cut to length)

El árbol se procesa en el lugar de apeo, siendo las trozas extraídas y transportadas al borde del camino o al patio de acopio, pudiendo medir seis metros o más de largo (Machado, citado por Machado, 2008).

De acuerdo con Machado, citado por Moreira (2000), este método de cosecha tiene sus ventajas y desventajas.

Las ventajas son: la porción no comercializable se deja en el área, reduciendo el costo de transporte de esa parte y también promoviendo la menor exportación de los productos y nutrientes del interior del bosque; el sistema es muy utilizado cuando el volumen medio de los árboles es inferior a  $0,5 \text{ m}^3$ , pues el manejo de los troncos es facilitado.

Las desventajas son: ante un alto grado de mecanización, puede haber perjuicio para la regeneración (rebrotos), debido al tráfico intenso de máquinas respecto a una cosecha manual. A su vez, si el grado de mecanización es elevado, requiere de una inversión inicial importante y mano de obra especializada (Moreira, 2000).

Según Olivera y Visser (2016b), en este método de cosecha, el sistema comúnmente utilizado es harvester y forwarder; siendo el harvester para el apeo de árboles y su posterior procesado (desrama, descorteza y troza a medida), y el autocargador o forwarder para extraer las trozas del rodal a borde de camino o patio de acopio temporario.

#### 2.2.2. Método de fuste entero (tree length)

El árbol es semi-procesado (desramado y si es requerido descortezado) en el lugar de apeo y llevado a borde de camino o patio de acopio en forma de fuste con más de seis metros (Soares, 2010). En general el apeo y semi-procesado se realiza con harvester y luego el skidder o clam bunk realizan el traslado al camino o patio de acopio temporario, finalizando el trozado con motosierra o con un sistema de sierra automatizado (slasher o harvester) (Machado 2002, Machado de Assis 2010).

#### 2.2.3. Método de árbol entero (full tree)

El árbol es derribado (apeado) y llevado al margen del camino o al patio de acopio, donde es procesado para su posterior transporte (Malinovski y Malinovski, citados por Soares, 2010). Para este método el sistema más utilizado podría ser feller buncher o motosierra para el apeado, skidder para trasladar el árbol a borde de camino y motosierra o harvester para su procesado: desramado, descortezado (si se requiere) y trozado (Rivas y Suárez, 2014).

Utilizar este método implica la remoción del árbol entero fuera del rodal, como operación posterior al corte del mismo. En caso de darse un futuro uso de la biomasa para generar energía, este sistema puede ser muy utilizado debido a la concentración de los restos de los árboles en un determinado lugar (Machado de Assis, 2010). Considerando esto, la extracción de nutrientes con los residuos puede generar impactos a largo plazo si los residuos no se vuelven a trasladar nuevamente al sitio forestal o bien se compensa con fertilización.

#### 2.2.4. Método de árbol completo (whole tree)

El árbol es arrancado con parte del sistema radicular y llevado al borde del camino o patio de acopio temporal donde será procesado (Machado, citado por Rivas y Suárez, 2014).

Este método se adopta solamente cuando la raíz tiene valor comercial, esto sería el caso de árboles con alta concentración de resina en sus raíces o árboles considerados medicinales. No existe tecnología específica para el uso de este método, la extracción de nutrientes con los residuos forestales puede generar impactos en el largo plazo si no son devuelto los residuos al sitio forestal comprometiendo la futura

productividad del sitio forestal o bien se debe compensar con fertilización (Malinovski y Malinovski, citados por Soares, 2010).

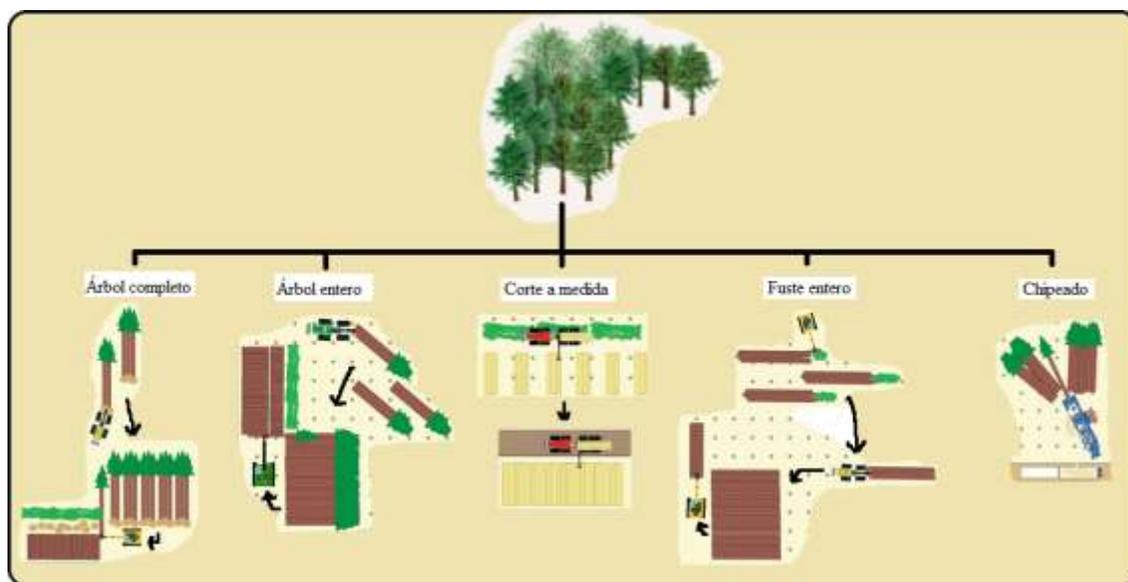
### 2.2.5. Método de chipeado (chipping)

El árbol es apeado, procesado y transformado en chips o astillas en el propio lugar de corte, siendo posteriormente transportado a la industria (Machado, 2008).

De acuerdo con Machado, citado por Moreira (2000), como ventajas, este sistema puede presentar mejor aprovechamiento del árbol y eliminación de varias sub-operaciones de corte forestal; como desventajas: el sistema puede ser limitado por el porcentaje de follaje y/o cáscara procesada.

En la figura 1 siguiente se muestra una representación esquemática de los diferentes métodos de cosecha. Si bien existen los esquemas clásicos, estos métodos pueden ser realizados con diferentes configuraciones de equipos y/o maquinaria conformando sistemas de cosecha forestal.

Figura 1. Métodos de cosecha forestal



Fuente: adaptado de Castro et al. (2015).

Conforme a esto el método de cosecha de corte a medida o cut to length, es el más utilizado en Uruguay, donde la configuración clásica o sistema de cosecha es un esquema mecanizado con harvester en la corta y procesamiento de la madera y forwarder para la extracción de la madera a borde de camino o cancha de acopio.

## 2.3. MAQUINARIA FORESTAL

Las actividades forestales están pasando por un intenso proceso de mecanización, que trae consigo tanto efectos positivos como negativos para los costos de producción (Machado, 2008).

La mecanización de las actividades de cosecha y transporte forestal está marcando un gran impacto en Uruguay, tendiendo a una diferenciación de empresas del sector según el nivel de mecanización que adopten.

Los principales equipos utilizados en la cosecha forestal, son los feller-bunchers y harvester. Para la extracción de la madera a borde de camino o cancha de acopio, los principales equipos utilizados son: el tractor con grapo, forwarder y skidder. Los beneficios de la mecanización son: reducir la mano de obra de baja calificación, mejorar las condiciones de trabajo y disminuir los costos operativos (Malinovski y Malinovski 1998, Soares 2010).

En este contexto, y por ser equipamientos de alto costo de adquisición, la comparación de estas máquinas necesita de un estudio detallado de costos y rendimientos involucrados, de infraestructura, de asistencia técnica de los proveedores y entrenamiento de los operadores. También debe acompañarse de un eficiente servicio de mantenimiento, evaluaciones periódicas de resultados, además de atender plenamente la seguridad de los operadores (Waldrigues, citado por Machado, 2008).

Clasificados como de gran porte, los equipos (tractores forestales) usados en las diversas etapas de la cosecha mecanizada, constan de una elevada potencia en el motor. Estas características le permiten una mejor movilidad y le proporcionan un aumento operativo significativo, resultando en mayor eficiencia en el trabajo y en menos tiempo. Sin embargo debido a su gran porte exceso de tráfico en el área de cosecha, puede traer consigo daños significativos a nivel de: compactación del suelo, y de futuros rebrotes (Rivas y Suárez, 2014).

A continuación se hará una breve descripción de la principal maquinaria forestal utilizada para la cosecha forestal.

### 2.3.1. Feller buncher

Según Malinovski y Malinovski, citados por Soares (2010), el feller buncher consiste en un tractor de neumáticos o de bandas con un implemento frontal (cabezal) que hace el corte, acumulando árboles o no, y así apilándolos para su extracción o procesamiento. Los implementos de corte pueden ser: sierra de cadena, cizalla o disco de corte. Es una máquina utilizada principalmente en tala rasa, porque tiene limitada movilidad. La potencia del motor varía de 179 a 240 KW y el peso total sin carga puede

llegar a 36 toneladas. Forma pilas con ángulos de 45 a 90 grados, con la línea de plantación (John Deere, s.f.).

El corte realizado por el feller buncher debe hacerse al ras del suelo agarrando el árbol a través de brazos acumuladores, el mismo luego de cortar sujeta el árbol sobre el cabezal y se reabre para el siguiente árbol (figuras 2, 3 y 4, Machado, citado por Soares, 2010).

Figura 2. Feller buncher de bandas, cabezal con sistema de corte de disco



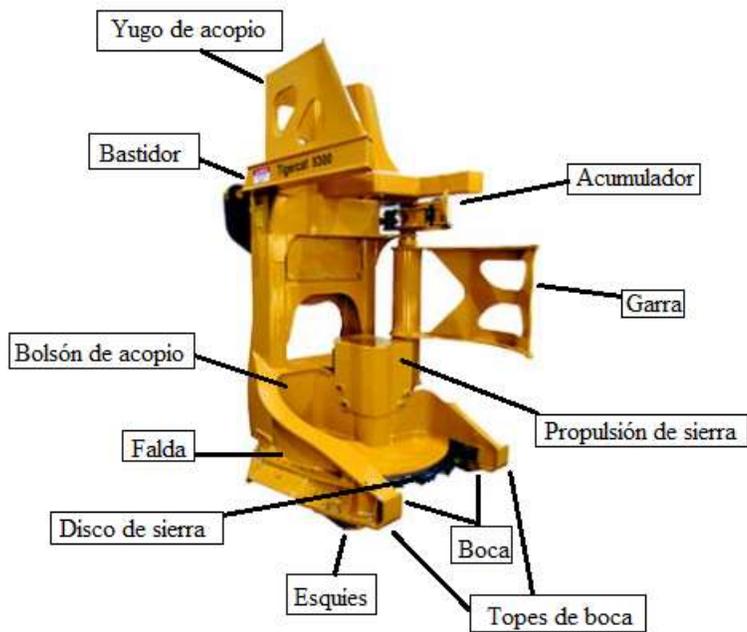
Fuente: John Deere (s.f.).

Figura 3. Feller buncher de neumáticos



Fuente: John Deere (s.f.).

Figura 4. Descripción del cabezal de corte del feller buncher



Fuente: adaptado de Tigercat (s.f.).

### 2.3.2. Harvester

La cosechadora harvester es un tractor forestal constituido por una máquina base automotriz con rodado de neumáticos o bandas (orugas), con una grúa hidráulica para alcanzar los árboles y un cabezal que puede ejecutar simultáneamente las tareas básicas de apeo, desrame, descortezado, trozado y apilado de la madera (Da Silva, 2012).

El cabezal dispone de cuchillas y rodillos con la capacidad para sostener y/o levantar el árbol después del corte (figuras 5 y 6). El corte es realizado por una sierra de cadena, luego del corte el árbol es posicionado horizontalmente, y a través de rodillos dentados y movimientos vaivén descortezza y desrrama la troza que es alimentada por los rodillos a través de las cuchillas (Malinovski y Malinovski, citados por Soares, 2010).

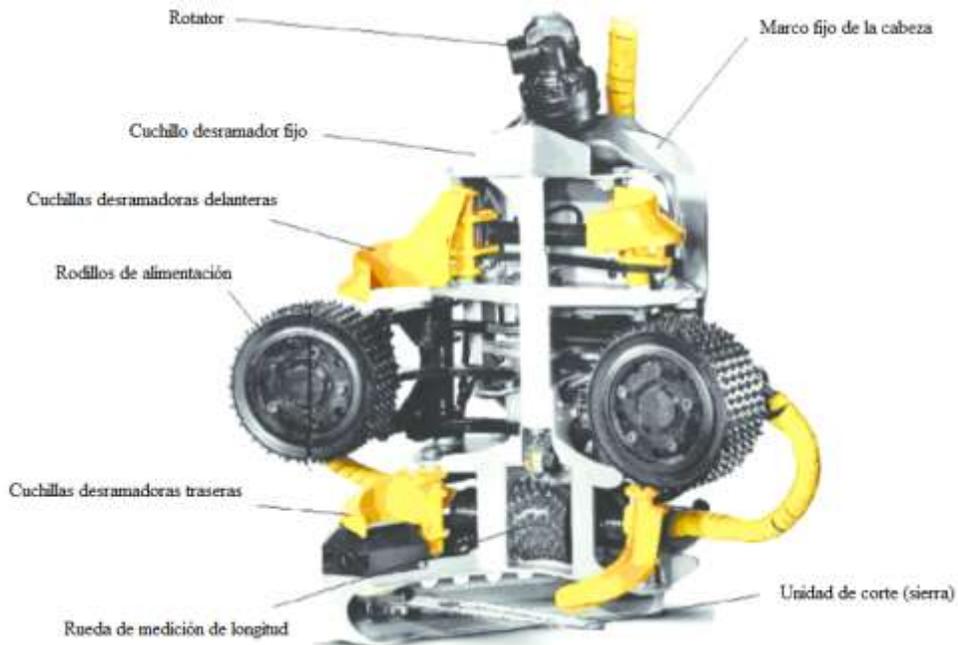
Según Machado de Assis (2010), es una máquina con la finalidad de cortar y procesar árboles dentro del monte. Con una potencia del motor que varía de acuerdo al tipo y modelo, entre 150 y 380 kw, y el peso total entre 20 y 36 toneladas (Uusitalo y Pearson, 2010).

Figura 5. Harvester de ruedas



Fuente: Komatsu (s.f.).

Figura 6. Descripción del cabezal de corte de harvester



Fuente: adaptado de John Deere (s.f.).

Según Da Silva (2012), la utilización de máquinas de alta tecnología, como el harvester, aumento considerablemente los rendimientos operacionales de la cosecha y la seguridad en el trabajo y bajo los costos operacionales, colocándolo entre los más competitivos.

Bramucci (2001), asegura que en el método de cosecha de corte a medida (CTL), el harvester es la principal máquina utilizada para el apeo y procesamiento.

De acuerdo con Burla (2008), la situación ideal de operación con harvester es encontrada en plantaciones (por ejemplo 3x3 m) con árboles de volúmenes entre 0,25 y 0,35 m<sup>3</sup> por árbol, no siendo para cosechar montes con producciones por debajo de los 150 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> (metros cúbicos por hectárea). También agrega, que son máquinas adecuadas para operaciones con trozas desde 2 hasta 6 metros de largo.

La capacidad productiva del harvester es influenciada por factores ambientales y técnicos, por ejemplo: el clima (lluvia y vientos), la capacidad de soporte del suelo, la topografía, las características de los árboles en cuanto a su diámetro, tamaño de las ramas y de la copa, peso y calidad de la madera; pero uno de ellos y al cual se le tiene poca consideración es el factor humano (Bramucci, 2001).

Según Burla (2008), los harvester producen entre 15 a 22 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (metros cúbicos por hora). En bosques de baja calidad (árboles entre 0,10 a 0,15 m<sup>3</sup>) la productividad cae entre 8 a 12 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, que podría ser inadecuada para las inversiones que requieren este tipo de maquinaria.

### 2.3.3. Forwarder

El forwarder es una máquina utilizada en método de corte a medida CTL, en conjunto con el harvester. Tiene como finalidad retirar la madera dentro del rodal hacia el borde de los caminos; su peso puede variar de 12 a 25 toneladas, y la potencia del motor entre 145 a 200 kw (Machado 2008, Uusitalo y Pearson 2010).

Figura 7. Forwarder



Fuente: Caterpillar (s.f.).

## 2.4. PRODUCTIVIDAD EN MAQUINARIA FORESTAL

La productividad es la relación entre las unidades de producto realizadas, o tareas alcanzadas y el tiempo consumido para lograrlo; considerando a las personas (recursos humanos) como la variable más importante y siendo las encargadas de ejecutar las funciones propias de un cargo o trabajo (Workmeter, citado por Pereira y Rocha, 2017).

Por otra parte Ponse et al., citados por García (2018), dicen que la productividad se ha conocido desde un principio como estudios de tiempos y movimientos. El mismo se realiza con el propósito de conocer la productividad de la maquinaria y también para mejorar su eficiencia operacional. Los datos que se obtienen de los estudios de tiempos son la base para la toma de decisiones en aspectos relacionados al planeamiento, organización y ejecución del trabajo, establecimiento de metodología en materia de remuneración, de tarifas de servicios, entre otros.

Según Brown et al. (2011), los estudios de productividad de harvester pueden ser muy influenciados por las diferencias de rendimiento del operador. Para acotar este efecto, estos estudios deben realizarse con múltiples operadores y máquinas, combinando los resultados de estudios para crear modelos generales de productividad.

## 2.5. NOMENCLATURA PARA ESTUDIOS DE LA PRODUCTIVIDAD EN TRABAJOS FORESTALES

Existe internacionalmente una nomenclatura común para el estudio de tiempos de trabajo forestal propuesto por “Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal” (IUFRO). Esta, permite definir cada operación elemental de un ciclo de trabajo y así poder estudiar el tiempo productivo en cada una de ellas (Tolosana et al., citados por Rivas y Suárez, 2014).

Los estudios de tiempo refieren a la medición, clasificación y posterior análisis sistemático y crítico del consumo de tiempo en el trabajo, con el fin de aumentar la eficiencia del objeto de estudio mediante la eliminación de consumo de tiempo inútil (IUFRO, 1995).

A continuación se describe la clasificación y terminología utilizada internacionalmente para los estudios de tiempo según IUFRO.

Tiempo total (TT\*): es el tiempo total del período considerado en estudio, involucra la suma del tiempo trabajado (TT) y del tiempo no trabajado (TNT).

- Tiempo trabajado u operativo (TT): tiempo en que se realizan tareas que directa o indirectamente están involucradas en completar un objetivo.
  - Tiempo de trabajo productivo o directo (TTP): parte del TT que es empleado en contribuir directamente en la finalización de una tarea específica del ciclo de trabajo (por ejemplo, tiempo de apeo y procesamiento de un árbol). Dentro de este se puede considerar:

- Tiempo de trabajo principal (TTPrinc): parte del TTP usado en cambiar el objeto de trabajo en lo que respecta a su forma, posición o estado dentro de las definiciones de las tareas de trabajo, por ejemplo corte, desramado, arrastre, apilado y carga.
  - Tiempo de trabajo complementario (TTComp): parte del TTP en que no ocurre lo anterior, pero que es necesario para completar la tarea y que es parte integral del ciclo de trabajo como posicionamiento de la maquinaria o el trabajador, limpieza del área de trabajo, evaluar la situación de trabajo, etc.
- Tiempo de trabajo de apoyo o indirecto (TTI): parte del TT que no es empleado directamente en la finalización de una tarea específica del ciclo de trabajo, pero que se desarrolla como apoyo necesario a la misma.
- Tiempo de preparación (TPrep): parte del TTI que se emplea para la preparación de las máquinas y las condiciones de la zona de trabajo de un sitio. Se divide a su vez en:
    - \* Tiempo de reubicación (TReubi): parte del TPrep que se emplea para el transporte de maquinaria, trabajadores, etc, a un nuevo sitio de trabajo.
    - \* Tiempo de planificación (TPlan): parte del TPrep que se emplea en el desarrollo de una estrategia operacional como por ejemplo recorrer y planificar el área de aprovechamiento a cosechar, marcando caminos de tractor, áreas sensibles, etc.
    - \* Tiempo de preparación operacional (TPOp): parte del TPrep usada para preparar el sistema de aprovechamiento con el fin de que siga trabajando en un sitio en particular, como por ejemplo, cambio de turno, de operador, desplazamiento del personal por el monte, etc.

- \* Tiempo de cambio (TC): parte del TPrep empleado en instalar y desinstalar el sistema productivo. Se divide en:
  - + Tiempo de configuración (TConf): parte del TC que se emplea en poner a punto el sistema de producción para que sea operativo en una nueva área, como por ejemplo estacionamiento y anclaje del tractor para comenzar el arrastre (“cableo”) desde una pista, montaje de un cable aéreo, etc.
  - + Tiempo de despegue (TDesp): parte del TC que se emplea para poner a punto el sistema de producción para un traslado a otra área de trabajo, como por ejemplo liberación de anclaje y puesta en marcha de un tractor al finalizar el arrastre (“cableo”) desde una pista en una cierta posición, desmontaje de un cable aéreo previo al cambio de “calle” etc.
- Tiempo de servicio (TServ): parte del TPrep que se emplea para mantener la capacidad de trabajo de las máquinas en el sistema de producción. Se divide en:
  - \* Tiempo de reparación (TRepar): parte de TServ que se emplea en la reparación de daños o desgaste de elementos del sistema de trabajo, que ocurren como interrupciones no críticas, como por ejemplo una pequeña avería, la espera de un mecánico, el traslado de una pieza dañada para su reparación.
  - \* Tiempo de mantenimiento (TMant): parte de TServ que se emplea para reparar la degradación progresiva de las herramientas y maquinaria, constituyendo una interrupción cíclica, como por ejemplo el mantenimiento normal de las piezas y maquinaria, la espera a un mecánico de mantenimiento, el transporte de la maquinaria

para una revisión periódica, la comprobación diaria del funcionamiento del equipo.

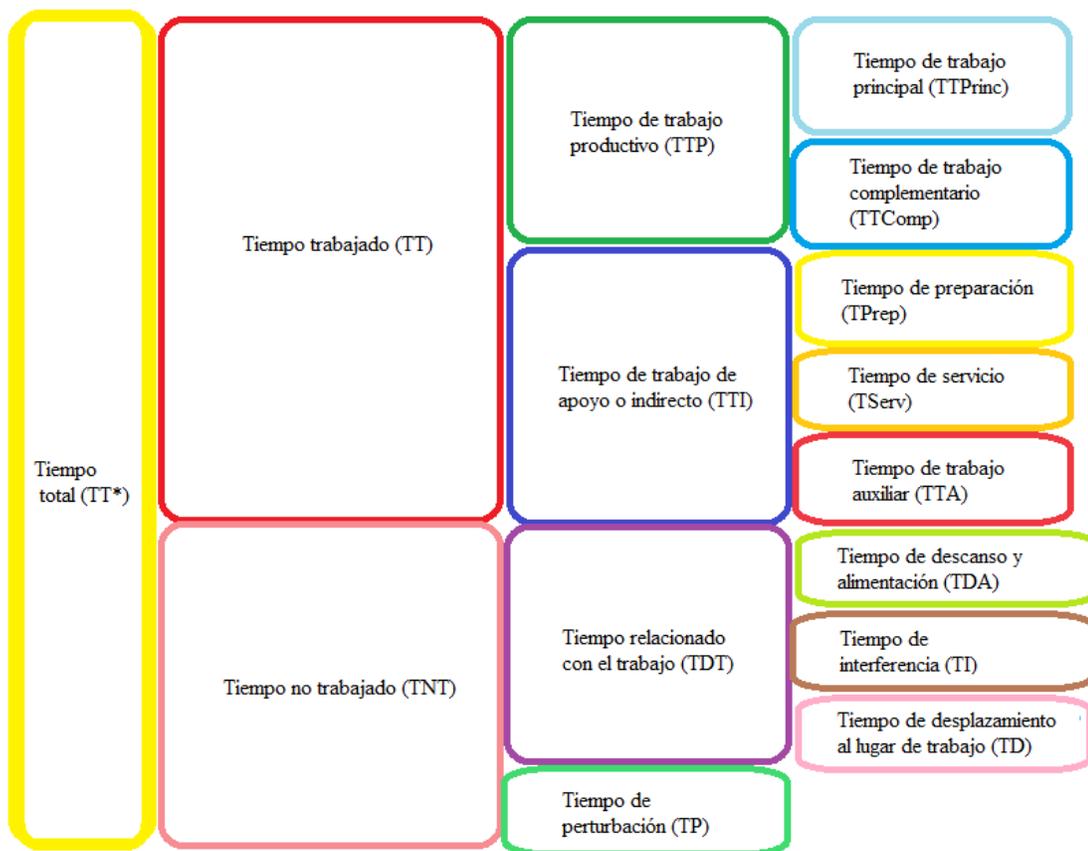
- \* Tiempo de repostado (T Repost): parte del T Serv que se emplea para repostado de la máquina, incluyendo el traslado de la máquina para repostar, o el transporte del combustible desde su lugar de almacenamiento tanto como el propio repostado.
  - Tiempo de trabajo auxiliar (TTA): parte del TTI que se emplea para realizar tareas auxiliares que permiten que el trabajo continúe en un sistema productivo, como por ejemplo, ayudar a otro trabajador en dificultades, amontonar residuos en las áreas húmedas, etc.
- Tiempo no trabajado (TNT): tiempo en que no se realizan tareas directas ni auxiliares que contribuyan a la consecución de los objetivos de trabajo.
  - Tiempo de perturbación (TP) : parte TNT que se considera como una interrupción en el trabajo sin conexión directa o indirecta con las tareas que lo componen, como por ejemplo recabar información, parar por inclemencias del clima, porque se haya producido accidente o incidente laboral, por visitas, etc.
- Tiempo de retardo relacionado con el trabajo (TDT): parte del TNT que está relacionado con la organización del trabajo. Se divide en:
  - Tiempo de descanso y alimentación (TDA): parte del TDT que se emplea en la alimentación de los trabajadores, en el descanso que se estima necesario, las necesidades fisiológicas, etc.
  - Tiempo de interferencia (TI): parte del TDT en la cual no ocurre ninguna actividad debido a la interferencia de una operación necesaria dentro del sistema de producción como por ejemplo esperar a que finalicen otras tareas de las que dependa la que se analiza, etc.
  - Tiempo de desplazamiento al lugar de trabajo (TD): parte del TDT en la cual los operarios se desplazan desde su lugar de

residencia al trabajo al principio de la jornada, o en sentido contrario cuando ésta finaliza.

- Tiempo de comida (fuera del lugar de trabajo): parte del TDT invertido, en el caso de que los operarios se desplacen para comer fuera del lugar de trabajo por ejemplo, a un pueblo cercano en los traslados y en la propia comida.

En la figura 8 siguiente se puede ver el esquema correspondiente a los tiempos de trabajo definidos por IUFRO que conforman un ciclo de trabajo.

Figura 8. Nomenclatura para estudio de tiempo



Fuente: adaptado de IUFRO (1995).

## 2.6. TOMA DE DATOS A TRAVÉS DE COMPUTADORA A BORDO

Las cosechadoras forestales usadas en Uruguay vienen equipadas con computadoras que recolectan y guardan datos de la actividad y producción diaria. Estos

datos son recolectados según un estándar de comunicación entre computadoras y maquinaria forestal llamado StanForD (Standard for Forest Data and Communication), los cuales son desarrollados y actualizados por el instituto de investigación forestal de Suecia o bajo sus siglas en sueco “Skogforsk”. A pesar de que han sido desarrollados en Suecia, estos estándares proporcionan un lineamiento de formato de datos que es utilizado por diferentes fabricantes de maquinaria forestal. Son usados en maquinaria para sistemas de corte a medida (harvester y forwarder), y permiten una comparación y utilización de la información obtenida con diferentes marcas y/o modelo de maquinaria (Skogforsk, 2015).

Según Skogforsk, citado por Olivera y Visser (2016b), los datos recolectados bajos StanForD están organizados en archivos: apt. (instrucciones de corte), prd. (archivos de producción), pri. (archivos individuales de producción), drf. (datos de monitoreo operacional) y stm. (datos de árbol individual). Los archivos apt. son producidos por el usuario, mientras que los otros son producidos por la computadora de la máquina.

Los datos obtenidos pueden ser organizados en una hoja de cálculo, permitiendo un desglose en detalle de los tiempos de trabajo durante la jornada diaria, de acuerdo a los archivos generados por la misma.

Archivos como prd. y drf. pueden contener datos del volumen, número de árboles y de trozas clasificadas por categoría, durante un periodo de tiempo (turno, subturno) y por unidad de cosecha (rodal, bloque, etc.) permitiendo un reporte de producción diario o por turno. Con un buen desempeño operativo por parte del operador, esta información, puede ser muy efectiva para evaluar la productividad de las máquinas y performance del propio operador.

Olivera y Visser (2016b), remarcan que el uso de datos generados automáticamente por la maquinaria (harvester), son oportunidades exploradas por investigadores, contratistas y empresarios forestales, y existen potenciales usos que pueden contribuir en mejoras de la gestión y operaciones forestales.

Experiencias en Europa y América del Norte han demostrado que el uso efectivo de la información que proporciona el computador a bordo en máquinas cosechadoras forestales, puede proporcionar ganancias de hasta 30% en disponibilidad, utilización y productividad (Brown et al., 2011).

## 2.7. VARIABLES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD EN COSECHA FORESTAL

La productividad, es el beneficio de la relación entre los medios empleados para obtener algo y el resultado que se consigue. A nivel de maquinaria es lo que surge del

trabajo que una máquina realizó de forma útil durante un determinado periodo de tiempo, y el trabajo total que se le ha entregado durante ese citado tiempo (Rocha y Pereira, 2017).

La productividad de una cosechadora forestal dependerá de varios factores, entre los cuales se destacan: la extensión del área de trabajo, aspectos climáticos, capacidad de soporte del suelo, características de los árboles, características del bosque, del sistema de cosecha, capacitación de operadores (Seixas, Malinovski et al., citados por Burla, 2008).

El desempeño de las máquinas es afectado por diversas variables operacionales y por condiciones del monte, del relieve, del clima, siendo que las mejores condiciones operacionales aumentan la productividad y consecuentemente disminuyen los costos. De esta manera el aumento de la pendiente del terreno, el aumento de la distancia de extracción y la disminución del volumen de madera por árbol reducen la productividad de las máquinas de cosecha (Da Silva, 2012).

El conocimiento de la variación y/o efecto de las diferentes variables sobre la productividad de la cosecha permite una mejor planificación de la producción.

A continuación se enumeran algunos de los aspectos que afectan la productividad al momento de desempeñar la actividad de cosecha forestal.

### 2.7.1. Características del bosque

La productividad en  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  de la maquinaria de cosecha forestal es mayor en poblaciones de mayor volumen por unidad de área (Moreira 2000, Rivas y Suárez 2014), conforme a esto si se evalúa la productividad en  $\text{arb} \cdot \text{h}^{-1}$  esta, será mayor a en poblaciones de menor volumen por unidad de área.

A su vez Da Silva (2012), señala que la variable con mayor influencia en la productividad es el volumen por árbol, representando un 58% de la variabilidad.

De acuerdo con Bramucci (2001), en una evaluación de harvesters trabajando en bosques de eucalipto, el volumen promedio por árbol representó el 55%, en promedio, de la capacidad de producción de harvester, y otras variables consideradas juntas como: (DAP), altura media y volumen por hectárea representaron aproximadamente el 80% de la capacidad productiva de la máquina.

Por otra parte Bramucci (2001), estudió que un aumento en la densidad de plantación, implica una reducción directa en volumen individual de los árboles, disminuyendo considerablemente la capacidad productiva de los harvester a causa del menor volumen árbol.

Sin embargo según Eliasson, citado por Burla (2008), desarrollando un modelo estadístico para simulación de cosecha forestal con harvester observó que el tiempo empleado por esta máquina para moverse a derribar los árboles prácticamente no se altera en función del aumento de la distancia entre los árboles. Lo que indica que la densidad de plantación tendría poca influencia sobre la productividad de la máquina.

Holtzcher y Lanford, citados por Burla (2008), estudiando el efecto del DAP sobre la productividad de la cosecha mecanizada, encontraron una alta correlación, de modo que, a medida que crecía el diámetro medio de los árboles aumentaba la productividad en  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

Por otra parte Bramucci (2001), identificó que se produce un aumento de la productividad en función del incremento del DAP pero hasta aproximadamente 24 cm. Este comportamiento indica que, en promedio, los cabezales procesadores utilizados son más adecuados para trabajar con árboles hasta 24 cm de DAP. Por lo cual según Burla (2008), la productividad de un harvester, tendera a crecer con el incremento del diámetro (DAP) hasta que éste alcance valores tales que la máquina comienza a limitarse en la fuerza mecánica e hidráulica para realizar el procesamiento.

Bramucci (2001), Burla (2008), citaron que, en relación a la altura de los árboles, existe la tendencia de estabilización de la productividad a partir de 40 m, probablemente porque el aumento en altura no implica superar los límites operacionales de las máquinas.

Por otra parte Olivera et al. (2016a), evaluando la productividad en diferentes especies de *Eucalyptus spp.*, obtuvieron que hay efecto de la especie y el DAP. Obteniendo mayor productividad cuanto menos tortuosa sea la especie.

### 2.7.2. Características del terreno

Malinovski y Camargo, citados por Soares (2010), dicen que variables como lluvias fuertes, asociado a otras variables como tipo de suelo puede hacer inviable el trabajo de la maquinaria y por ende menos productivas.

Según Wagner (2006), la capacidad de sustentación de los suelos para que no afecte la productividad de las maquinas forestales, depende en gran medida de que el drenaje no sea pobre y que tenga una buena cubierta vegetal para no generar patinaje excesivo.

Según Akay et al. (2004), en condiciones de mayor pendiente el harvester emplea mayor tiempo en el posicionado para procesar los árboles dentro de un ancho operativo y, por lo tanto, disminuye la productividad.

Da Silva (2012), encontró que la caída de la productividad del harvester cuando se operaba con pendiente de hasta 36% fue de 8.26%, procesando árboles con un volumen medio por árbol de 0.30 m<sup>3</sup>.

### 2.7.3. Maquinaria

Malinovski y Camargo, citados por Soares (2010), dicen que la maquinaria utilizada donde las condiciones operativas como: el estado de los elementos desgastante, la calidad de las piezas para reposición, el estado de los neumáticos y bandas, entrenamiento y rotación de los operadores, tipo de jornada de trabajo, dependencia de otros equipos y sistema de manejo adoptado pueden afectar de igual manera la productividad.

Según Burla (2008), lo que si puede estar influyendo en productividad es el ancho operativo de trabajo, dado las características del equipo determinado por el alcance de la grúa y el radio de giro.

### 2.7.4. Operador

Bramucci (2001), estudió la influencia de la experiencia del operador sobre la productividad de la máquina, evaluando el número de horas trabajadas en harvesters para cada operador con sus respectivas productividades. Se obtuvo una tendencia en aumento de la productividad con el incremento del número de horas, pero con efecto relativamente pequeño. Este pequeño efecto se esperaba, porque, según Parker et al., citados por Burla (2008), el gran aumento en la productividad del operador de harvester ocurre en los primeros 30 días de trabajo.

García (2018), obtuvo en su investigación, que un operador nuevo requiere en promedio 974,5 horas productivas de trabajo para poder alcanzar una productividad estable (potencial), que se corresponde con aproximadamente seis meses y medio; aunque de todas maneras podría seguir aumentando su productividad a tasas muy bajas.

Además Richardson y Makkonen, citados por Burla (2008), concluyeron que cuanto mayor es el tiempo de experiencia del operador, mayor es la productividad alcanzada, alcanzando un incremento del 45% tras dos años de experiencia.

A su vez Leonello et al., citados por Rivas y Suárez (2014), observaron en forma global que después de los 44 meses de experiencia como maquinista de harvester, el rendimiento disminuye por lo que son necesarias medidas de incentivo, entrenamiento, motivación y otras, con el fin de estimular a esos operadores, dándoles las condiciones para permanecer en el cargo y mantener o aumentar el rendimiento operacional.

El aspecto humano y su influencia es muy complejo de analizar, debido a que la performance del operador es el resultado de numerosos factores que no son fácilmente medibles, que además pueden tener interacciones adicionales con otras variables (Nurminen et al., citados por García, 2018).

Un operador con experiencia, tiene la capacidad de planificar 4 o 5 árboles por adelantado y muestra muy poca variación entre los diferentes árboles que va procesando (Ovaskainen, citado por Garcia, 2018).

Por otra parte, Wagner (2006), dice que el turno de trabajo en especial durante horas nocturnas disminuye la productividad, debido a una reducción de la visibilidad. En un estudio realizado por Rocha y Pereira (2017), el efecto del turno nocturno en la productividad se manifiesta cuando las jornadas de trabajo son largas.

#### 2.7.5. Producto procesado

Spinelli et al., citados por Burla (2008), estudiando el rendimiento del harvester procesando trozas de 2 y 4 m, concluyeron que la productividad es mayor cuanto mayor es la longitud de las trozas procesadas. Estudios previos indicaron que la cosecha de madera de 6,0 m presenta los mejores rendimientos operativos (Duratex, citado por Burla, 2008).

Según Burla (2008), la operación de descortezado disminuye la productividad de un harvester entre 10% y 30%.

Bramucci (2001), encontró que la productividad en harvester realizando descortezado es prácticamente lineal a medida que aumenta el volumen. A su vez, señala que el tratamiento sin descortezado es ligeramente superior en los árboles de menor porte (0,1 a 0,3 m<sup>3</sup>), aumentando la productividad y acentuando la diferencia en árboles de mayor porte (0,3 a 0,5 m<sup>3</sup>).

## 2.8. ANTECEDENTES DE PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA FELLER BUNCHER - HARVESTER

En un estudio realizado por Santos y Da Silva (2018), se evaluó la productividad de la cosecha mecanizada de eucalipto mediante un sistema de corte a medida, bajo dos modalidades: harvester - forwarder (CTL clásico) y feller buncher - harvester - forwarder, de manera de compararlas y ver la mayor eficiencia de una de las dos. El volumen medio de los árboles cosechados era de 0,27 m<sup>3</sup>.

En el cuadro 1 se pueden ver los resultados de productividad obtenidos por los autores para los dos sistemas en estudio. La productividad en arb.h<sup>-1</sup> para el sistema 2

presenta un incremento del 17,7% para el harvester y un 6,9% para el forwarder respecto a la del sistema 1.

Cuadro 1. Resultados de productividad de sistemas de cosecha CTL y feller buncher - harvester - forwarder

Sistema 1 (CTL clásico)			Sistema 2 (Feller buncher - harvester - forwarder)		
Harvester	20,35 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	75,37 arb.h <sup>-1</sup>	Feller buncher	86,57 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	320,6 arb.h <sup>-1</sup>
+			+		
Forwarder	35,78 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>		Harvester	23,95 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	88,7 arb.h <sup>-1</sup>
+			+		
			Forwarder	38,26 m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>	

## 2.9. HIPÓTESIS

En base a los objetivos de estudio, se desarrollará el planteo de una hipótesis nula y una hipótesis alterna.

### 2.9.1. Hipótesis nula (Ho)

No existe diferencia estadísticamente significativa de productividad (arb.h<sup>-1</sup>) del harvester en ambos sistemas de cosecha A y B.

### 2.9.2. Hipótesis alterna (Ha)

Existe diferencia estadísticamente significativa de productividad (arb.h<sup>-1</sup>) entre los sistemas de cosecha que se comparan A y B.

Hipótesis,

Ho:  $\zeta_A = \zeta_B$

Ha:  $\zeta_A \neq \zeta_B$

Tratamiento  $\zeta_A$ : productividad del sistema A.

Tratamiento  $\zeta_B$ : productividad del sistema B.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó a partir de datos registrado automáticamente por computadoras de abordo de los harvester que trabajaron bajo dos sistemas de cosecha. Este grupo de maquinaria se encuentra trabajando en régimen contratada para la producción de madera para la empresa Montes del Plata.

Sistema A, realizado en establecimiento “Los Nietos”: con feller buncher (apeo) + harvester (procesamiento y trozado).

Sistema B, realizado en establecimiento “La Alegría”: con harvester (apeo, procesamiento y trozado).

##### 3.1.1. Ubicación

Establecimiento “Los Nietos” se encuentra ubicado en el departamento de Maldonado, al oeste del arroyo José Ignacio, aproximadamente a 9 km hacia el norte de la ruta No. 9.

Establecimiento “La Alegría” se encuentra ubicado al norte del departamento de Durazno, sobre el Rio Negro y a 20 km al norte de la localidad de La Paloma.

En las figuras siguientes se aprecia la localización de ambos establecimientos.

Figura 9. Ubicación de los establecimientos evaluados



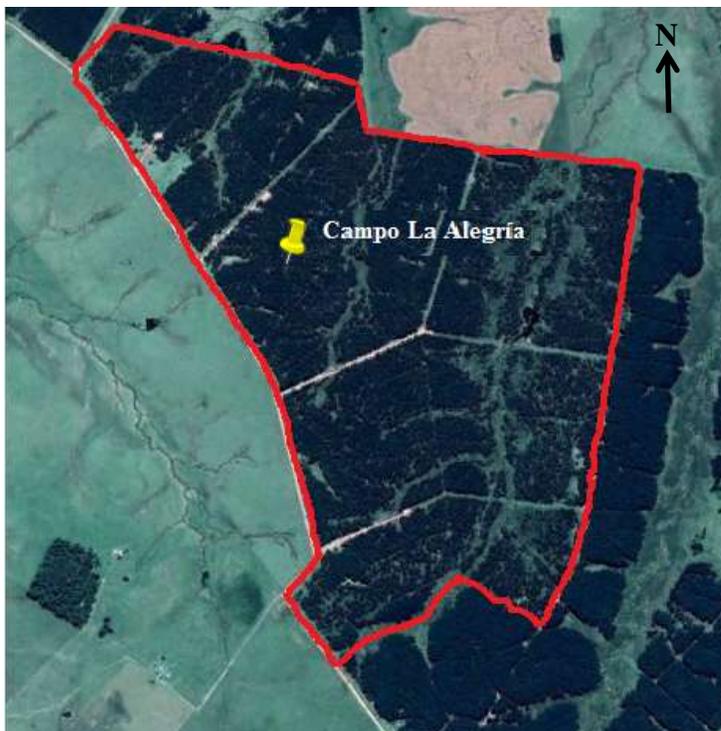
Fuente: adaptado de Google Earth.

Figura 10. Ubicación del monte del establecimiento “Los Nietos”



Fuente: adaptado de Google Earth.

Figura 11. Ubicación del monte del establecimiento “La Alegría”

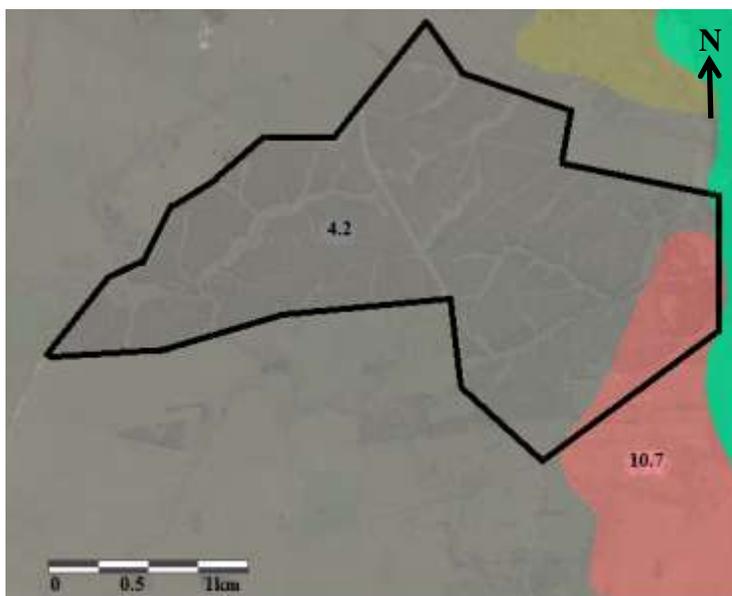


Fuente: adaptado de Google Earth.

### 3.1.2. Suelos

El establecimiento “Los Nietos” comprende según clasificación CONEAT suelos 4.2 en su mayoría, y en menor parte suelos 10.7. Los suelos 4.2 se caracterizan por comprender un relieve fuertemente ondulado con 4-8% de pendiente con interfluvios convexos y laderas extendidas con afloramientos rocosos muy escasos y presencia de abundantes cárcavas. Los suelos dominantes son argisoles subéutricos ócricos típicos/abrupticos, de texturas francas, profundos, de drenaje moderadamente bueno a imperfecto y fertilidad media a baja. Este grupo corresponde a la unidad San Carlos de la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F.) y posee un índice de productividad 61 (MGAP. DGRN, 2016b).

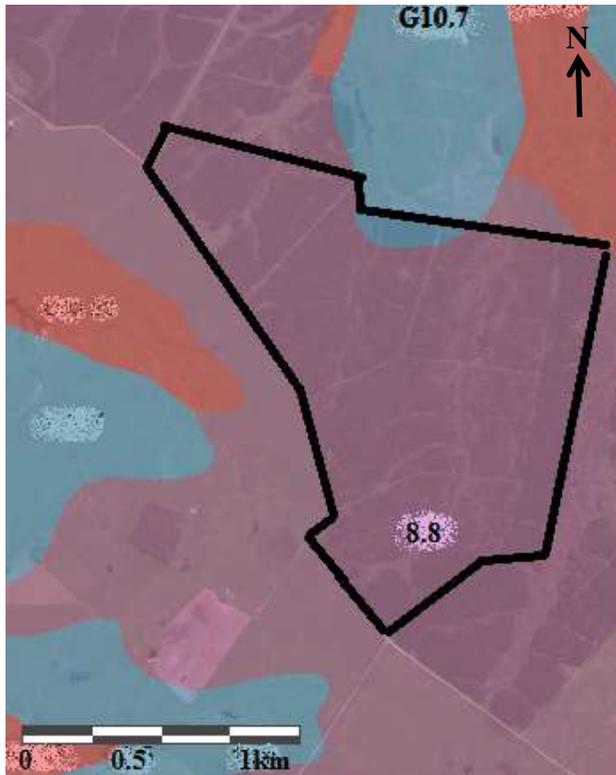
Figura 12. Mapa CONEAT para establecimiento “Los Nietos”



Fuente: adaptado de MGAP. DGRN (2016a).

El establecimiento “La Alegría” según la clasificación CONEAT posee suelos 8.8 en su mayoría con una pequeña área de G10.7 hacia el centro norte del predio. El suelo 8.8 se caracteriza por poseer relieve con colinas sedimentarias algo rocosas con pendientes entre 5 y 10%. Los suelos dominantes son luvisoles úmbricos/ócricos abrupticos, profundos, de color pardo oscuro, textura franco arenosa, bien drenados y fertilidad muy baja y acrisoles úmbricos/ócricos típicos profundos de color pardo rojizo oscuro, textura franco arcillo arenosa, bien drenados y fertilidad extremadamente baja. Este grupo integra la unidad Aparicio Saravia en la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F.) con un índice de productividad 74 (MGAP. DGRN, 2016b).

Figura 13. Mapa CONEAT para establecimiento “La Alegría”



Fuente: adaptado de MGAP. DGRN (2016a).

### 3.1.3. Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Koppen, Uruguay es clasificado como “Cfa”, UdelaR. Fcien (s.f.). porque no hay magnitud como para distinguir diferentes tipos de climas. Es por esto que Uruguay es caracterizado a nivel general por:

- poseer clima templado, moderado y lluvioso, con una temperatura en el mes más frío entre  $-3^{\circ}$  y  $18^{\circ}\text{C}$ ; “tipo C”.
- temperie húmeda, con lluvias irregulares; “tipo f”.
- la temperatura del mes más cálido es superior a  $22^{\circ}\text{C}$ ; “tipo a”.

Cabe aclarar que el monte de “La Alegría” se cosechó entre 21/08 y el 29/09 de 2018 (invierno - inicio de primavera), y el de “Los Nietos” se cosechó desde 14/01 al 27/06 de 2016 (verano - otoño - invierno).

### 3.1.4. Características de los rodales

Se cuenta con poblaciones de *Eucalyptus maidenii* régimen tallar, para producción comercial con destino pulpa de celulosa.

Los datos de inventario previo a la cosecha muestran que:

- para el sistema A, en el establecimiento “Los Nietos”, cuenta con 16 rodales con un volumen promedio por árbol de 0,11 m<sup>3</sup> y 162 m<sup>3</sup> por hectárea, totalizando un volumen de 57.229 m<sup>3</sup> estimados.
- para el sistema B, en el establecimiento “La Alegría”, el mismo posee 4 rodales con un volumen promedio por árbol de 0,15 m<sup>3</sup> y 143 m<sup>3</sup> por hectárea, totalizando 17.340 m<sup>3</sup> estimados.

Cuadro 2. Detalle de los rodales estudiados del sistema A “Los Nietos”

No. de rodal	Vol. árbol <sup>1</sup>	Especie	Vol. ha <sup>-1</sup>	Vol. total
31108_1	0,11	<i>E. maidenii</i>	175,87	7652
31108_2	0,11	<i>E. maidenii</i>	143,09	3497
31108_3	0,10	<i>E. maidenii</i>	156,85	2927
31108_4	0,11	<i>E. maidenii</i>	146,83	6512
31108_5	0,10	<i>E. maidenii</i>	138,74	5383
31108_6	0,11	<i>E. maidenii</i>	124,98	2063
31108_7	0,10	<i>E. maidenii</i>	123,15	4413
31108_8	0,10	<i>E. maidenii</i>	127,18	4329
31108_9	0,11	<i>E. maidenii</i>	139,87	4293
31108_10	0,11	<i>E. maidenii</i>	143,42	5685
31108_11	0,10	<i>E. maidenii</i>	187,98	4420
31108_12	0,10	<i>E. maidenii</i>	186,3	1381
31108_13	0,11	<i>E. maidenii</i>	180,38	2536
31108_14	0,13	<i>E. maidenii</i>	188,05	681
31108_15	0,15	<i>E. maidenii</i>	236,02	1020
31108_16	0,13	<i>E. maidenii</i>	194,72	438
TOTAL	0,11		162	57229

Fuente: elaborado en base a datos aportados por empresa Montes del Plata<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Montes del Plata. 2019. Datos de inventario (sin publicar).

Cuadro 3. Detalle de los rodales estudiados del sistema B “La Alegría”

No. de rodal	Vol. árbol <sup>-1</sup>	Especie	Vol. ha <sup>-1</sup>	Vol. Total
13905_7	0,16	<i>E. maidenii</i>	115,13	2687
13905_8	0,14	<i>E. maidenii</i>	149,95	6043
13905_9	0,15	<i>E. maidenii</i>	152,63	5147
13905_10	0,16	<i>E. maidenii</i>	156,19	3463
TOTAL	0,15		143	17340

Fuente: elaborado en base a datos aportados por empresa Montes del Plata<sup>1</sup>

Ver anexos 4 y 5 donde muestra la delimitación de ambos establecimientos y sus respectivos rodales.

### 3.2. MATERIALES UTILIZADOS

Los materiales utilizados para el desarrollo del estudio se presentan a continuación.

- ❖ Planos a escala 1:19.000 para “Los Nietos” y 1:500 para “La Alegría”
- ❖ Fotografías satelitales (Google Earth).
- ❖ Planillas de inventario de los rodales.
- ❖ Base de datos con información de la producción, proporcionada por la computadora a bordo de los harvester utilizados.
- ❖ Planillas de cálculo de excel.
- ❖ Software estadístico InfoStat 2018.

### 3.3. MAQUINARIA UTILIZADA

El frente de cosecha que desarrolló las tareas en los establecimientos estudiados está compuesto por un sistema de maquinaria forestal, dentro de los cuales se encuentran el feller buncher, harvester y forwarder; siendo el harvester la principal máquina utilizada en aportar la información de este estudio. Por dicho motivo en este punto se focalizo únicamente en la descripción técnica del harvester.

### 3.3.1. Descripción técnica de los harvester

Los harvester marca Ponsse modelo Ergo versión 2015 utilizados en el procesamiento de la madera son máquinas diseñadas, desarrolladas y fabricadas en Finlandia. Equipadas con un cabezal cosechador Ponsse modelo H7, las mismas apean, procesan (desraman, descortezan) y trozan, además de medir los árboles, con un alcance de grúa de 8 m.

A continuación la figura 14 y el cuadro 4 con una representación de los harvester en estudio y una descripción técnica.

Figura 14. Harvester Ponsse Ergo 8w con cabezal H7



Fuente: Ponsse (s.f.).

Cuadro 4. Descripción técnica de los harvester

Marca	Modelo	Año de fabricación
Ponsse	Ergo	2015
<b>MOTOR</b>		
Potencia nominal (kw)	210 kw/286 (CV)/ 1150 Nm	
<b>DIMENSIONES</b>		
Longitud (mm)	8130	
Ancho (mm)	2630-3085	
Altura (mm)	3800	
Separación del suelo (mm)	600	
Peso (kg)	21500	
<b>GRÚA</b>		
Fuerza de elevación (kNm)	250	
Fuerza de giro (kNm)	57	
Alcance (m)	8.6 -10 -11	
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>		
Vol. deposito (l)	290	
Bomba de la grúa (cm <sup>3</sup> )	145	
<b>NEUMÁTICOS</b>		
Rodado	710/45-26,5	

Fuente: adaptado de Ponsse (s.f.).

### 3.3.2. Descripción técnica del cabezal

El cabezal que cuentan los harvester en estudio, es Ponsse modelo H7 de origen Finlandés, posee una apertura máxima de sus rodillos de alimentación de 65 cm, además permite un desplazamiento y alimentación del árbol por medio de tres rodillos sincronizados. El cuadro 5 muestra la descripción técnica del cabezal y la figura 15 muestra el cabezal con el cual se trabajó y una representación de sus partes.

Cuadro 5. Descripción técnica cabezal cosechador

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	
Peso	1150 kg
Longitud	1500 mm
Ancho	1540 mm
Altura sin rotor	1680 mm
<b>ALIMENTACIÓN</b>	
Alimentación	3 rodillos
Fuerza de alimentación	30 KN
Velocidad de alimentación	5 m/s
<b>UNIDAD DE CORTE</b>	
Longitud espada	700/820/900 mm
Diámetro de corte	640/720/800 mm
<b>DESRAME</b>	
Cuchilla	4 móviles + 1 fija + 1 fija
Apertura máx., cuchilla superior	640 mm
Apertura máx., cuchilla inferior	750 mm

Fuente: adaptado de Ponsse (s.f.).

Figura 15. Cabezal Ponsse H7 y sus principales partes



Fuente: adaptado de Ponsse (s.f.).

### 3.4. SISTEMA DE TRABAJO DE LA MAQUINARIA UTILIZADA

Se procedió a realizar la cosecha en ambos establecimientos, en “La Alegría” y en “Los Nietos”, mediante el método de corte a medida (CTL), procesando y trozando los árboles hasta los 5 cm de diámetro en punta fina, con un largo de trozas de 7.2 m más otras de largo variable con un mínimo de 4 m. En cuanto al descortezado el mismo fue 100% en ambos establecimientos.

El trabajo de las máquinas se desempeñó por operarios distribuidos en dos turnos (diurno y nocturno). Es importante, que todos los operarios contaban con el mismo programa de entrenamiento, habiendo finalizado su aprendizaje para desempeñarse con dicha maquinaria y estabilizado su productividad.

#### 3.4.1. Sistema de trabajo en establecimiento “La Alegría” (harvester)

En “La Alegría” se trabajó con harvester en toda la operación de cosecha, realizando el apeo desde el árbol en pie, luego el procesado (desrame – descortezado) y trozado, depositando a un lado de la máquina las pilas de madera para la extracción con forwarder.

### 3.4.2. Sistema de trabajo en establecimiento “Los Nietos” (feller buncher - harvester)

En “Los Nietos”, el trabajo del harvester fue procesar (desramado – descortezado) y trozar el árbol tomándolo del piso luego de ser apeado por el feller buncher.

El feller buncher realiza el apeo y apilado cada 10 filas de árboles, permitiéndole al harvester mayor cantidad de madera apilada por superficie para su posterior procesamiento (el cual por si solo tendría capacidad para procesar 4 o 5 filas); además genera mayor cantidad de residuos en la zona donde transitaran máquinas, permitiendo amortiguar y disminuir la compactación del suelo al momento de la extracción. Además de lo mencionado, el objetivo con este sistema de cosecha es optimizar el proceso, ya que se parte de un tallar de *E. maidenii* y el feller buncher por su descripción técnica podría acumular mayor cantidad de árboles apeados en su cabezal.

### 3.4.3. Sistema de trabajo del forwarder para ambos establecimientos

La actividad del forwarder consiste en la recolección de las trozas una vez finalizada la actividad del harvester. Las trozas son recogidas y transportadas a borde camino para posteriormente ser cargada en camiones y enviada a la industria. De esta forma culmina la etapa denominada cosecha de la madera.

## 3.5. DESCRIPCIÓN DEL ESTUDIO

Se partió en ambos establecimientos (“La Alegría” y “Los Nietos”) con rodales igualmente manejados desde un principio, tallares de *E. maidenii* con destino pulpable. A excepción de los rodales en “La Alegría”, donde se realizó una limpieza pre-cosecha con motosierra para facilitar el trabajo del cabezal, ya que aquí se trabajó sin feller buncher.

Con los reportes diarios aportados por la computadora a bordo de los harvester, se procedió a realizar un estudio de productividad ( $\text{arb.h}^{-1}$ ) del harvester para comparar los sistemas de cosecha utilizados. Esta base de datos brinda información precisa en cuanto a los tiempos productivos y no productivos que existieron durante las jornadas de trabajo, al igual que la cantidad de árboles cosechados.

La base de datos utilizada para este análisis no se generó de un diseño experimental previo, sino que se obtuvo del registro de actividad diaria de la máquina. Por lo tanto, se tomaron escenarios que cumplieran con ciertos requisitos y que permitieran realizar los análisis y comparación para este estudio. Por otra parte, por partir de una base de datos desbalanceada con 991 registros para el establecimiento “Los Nietos” y 210 registros para “La Alegría”, correspondientes a datos de árboles

procesados, horas trabajadas por trabajador y por turno; se hicieron ajustes para balancear la base y de esta manera su posterior análisis estadístico.

### 3.5.1. Metodología de análisis

Como consecuencia del desbalance de la base de datos original la cual presenta, 4 rodales con 210 registros del establecimiento “La Alegría” y 16 rodales con 991 registros del establecimiento “Los Nietos”, se procedió a realizar un muestreo aleatorio dirigido con el propósito de balancear los datos de ambos establecimientos para su posterior análisis estadístico.

Para el muestreo aleatorio se consideró y direccionó que los rodales en estudio de ambos establecimientos y/o sistemas de trabajo fueran manejados y cosechados por los mismos operadores que son distribuidos en los dos turnos (diurnos y nocturno) y por los mismos harvester en estudio, logrando así mantener condiciones similares de cosecha entre estos.

La nueva base de datos posterior al muestreo aleatorio contiene registro de los mismos harvester, manejados por los mismos operarios distribuidos en ambos turnos. La misma presenta 4 rodales con 102 registros del establecimiento “La Alegría” y 4 rodales con 102 registros del establecimiento “Los Nietos”, correspondientes a datos de árboles procesados, horas trabajadas por trabajador y por turno. A su vez, con el número de árboles cosechados y las horas efectivas trabajadas se calculó la productividad en  $\text{arb.h}^{-1}$ .

## 3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Realizado el correcto ajuste sobre la base de datos original, y obtenida la nueva base de datos en condiciones para su análisis estadístico, según el enfoque y objetivos del estudio, se prosiguió a realizar el análisis de varianza y comparación de medias con el software InfoStat 2018 utilizando como modelo matemático el Diseño en Bloque Completos al Azar (D.B.C.A). Además de comparar los dos sistemas (tratamientos) propuestos, nos permita observar el efecto de variables (ejemplo: operarios) sobre los tratamientos.

Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \zeta(A, B) + \varepsilon$$

j=1,...,102 (No. repeticiones)  
i=1,2 (No. de tratamientos)

Y= productividad en  $\text{arb.h}^{-1}$

$\mu$  = media general

$\beta_j$  = efecto bloque (operarios)

$\zeta(A, B)$  = efecto tratamiento (A “Los Nietos” y B “La Alegría”)

$\varepsilon$  = error experimental

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ANÁLISIS DE VARIANZA

#### 4.1.1. Análisis general

Con el propósito de comparar los tratamientos (sistemas de cosecha) evaluados en ambos establecimientos se realizaron los estudios correspondientes mediante un análisis de varianza, el cual generó los resultados que se muestran a continuación.

Cuadro 6. Estudio base de análisis de varianza arb.h<sup>-1</sup>

Tratamientos	arb.h <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> /h <sup>-1</sup>	n	E.E.
B “La Alegría”	70,01	10,58 m <sup>3</sup> /h <sup>-1</sup>	102	1,75 A
A “Los Nietos”	59,23	6,23 m <sup>3</sup> /h <sup>-1</sup>	102	1,75 B

Se puede observar, la productividad a partir del indicador arb.h<sup>-1</sup> obtenida por los harvester para los tratamientos estudiados. Esta fue mayor en el sistema B, con 70,01 arb.h<sup>-1</sup> aplicado en el establecimiento “La Alegría”, mostrando diferencias significativas con la productividad del sistema A, con 59,23 arb.h<sup>-1</sup> aplicado en el establecimiento “Los Nietos” (ver anexo 1). Con este resultado, se estaría rechazando la hipótesis nula (H<sub>0</sub>), referente a que la productividad de los tratamientos estudiados (sistemas de cosecha) no tienen diferencias estadísticamente significativas.

Estos resultados se mostraron contrarios a los resultados obtenidos por Santos y Da Silva (2018), expuestos en el cuadro 1, no encontrando más estudios publicados de este tipo.

En este estudio, el sistema A (feller buncher + harvester + forwarder) resulta con una productividad significativamente menor que en el sistema B (harvester + forwarder), cuando en el estudio citado la modalidad feller buncher + harvester + forwarder demostró un incremento del 17,7 % desde el punto de vista del harvester respecto a la modalidad harvester + forwarder (CTL clásica).

Estas diferencias en los resultados obtenidos respecto a los de referencia pueden estar determinados por variables, como el volumen/árbol. Ya que las condiciones y modalidad de trabajo fueron similares, en cambio el volumen por árbol cosechado en el presente estudio fue de 0.11 m<sup>3</sup> y 0.15 m<sup>3</sup> en promedio, inferior al utilizado por Santos y Da Silva (2018), que cosecharon árboles de 0.27 m<sup>3</sup>.

Por lo tanto, puede ser resultado que en el estudios de Santos y Da Silva (2018), se vieron favorecidos, operativa y/o productivamente, por el mayor volumen por árbol al momento de desempeñar la actividad, respecto a la situación en estudio donde el

volumen por árbol no favoreció el desempeño operativo del harvester y por ende la productividad se vio afectada.

#### 4.1.2. Análisis específico

Por otra parte con los resultados obtenidos por el análisis de varianza anteriormente expuesto, los antecedentes del sistema feller buncher-harvester manejados, sumado a la revisión bibliográfica consultada y analizando más específicamente el cuadro siguiente, hubiera sido esperable que a menor volumen por árbol, el harvester debería procesar mas árboles por hora; caso que si se da dentro del sistema B al comparar la productividad de 0,14 m<sup>3</sup>/árbol con 0,16 m<sup>3</sup>/árbol, pero que no se da en el sistema A.

Cuadro 7. Productividad arb.h<sup>-1</sup> en función del vol./árbol

	Vol. / árbol	arb.h <sup>-1</sup>	n	E.E.
B "La Alegria"	0,14	77,88	27	3,35 A
	0,15	70,41	31	3,12 A B
	0,16	64,91	44	2,62 B C
A "Los Nietos"	0,10	59,92	49	2,48 C
	0,11	58,58	53	2,39 C

Estos resultados confirman que hay un efecto tratamiento que marca la diferencia entre sistemas encontrado en el análisis general, y muestran que ese efecto esta dado por la dificultad operativa del harvester al momento de cosechar árboles de menor volumen (árboles de 0,10 - 0,11 m<sup>3</sup>/árbol) cuando los tiene que tomar del piso luego de ser apeados por el feller buncher, respecto a apearlos por sí mismo (ver anexo 3).

Esta dificultad operativa del harvester que se ve reflejada al tomar los árboles del piso y finos, se debe mayormente a la caída de los árboles al momento de tomarlos, a que se agarra más de uno y esto provoca que el harvester tenga que volver a retomar los árboles y cause una dificultad que se refleja en la productividad.

Por lo tanto, se puede concluir que al cosechar árboles de poco volumen, el harvester tiene dificultad en el tomado del árbol del suelo y esto afecta negativamente la productividad, no viéndose potenciada por el apeo anterior por parte del feller buncher.

Por otra parte, y considerando los antecedentes recabados de Santos y Da Silva (2018), para poder determinar en el conjunto global el costo total por metro cúbico del sistema, es necesario evaluar la productividad del forwarder, ya que según los antecedentes, este podría tener un incremento del 6,9 % en su productividad en la

modalidad (feller buncher + harvester + forwarder) con un incremento en madera acumulada.

Siguiendo el mismo contexto, y haciendo referencia a esa diferencia entre tratamiento encontrada en el análisis general, se realizó un análisis de varianza con un diseño matemático (D.B.C.A) donde cada operario utilizado como bloque trabajó en ambos sistemas, de manera de homogeneizar ambos tratamientos y determinar la influencia y/o efecto de los mismos sobre la eficiencia del harvester.

Cuadro 8. Efecto operador sobre la productividad arb.h<sup>-1</sup>

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	17625,10	5	3525,02	13,59	<0,0001
Tratamientos	3682,15	1	3682,15	14,20	0,0002
Operador	11692,32	4	2923,08	11,27	<0,0001
Error	51341,10	198	259,30		
Total	68966,20	203			

En los resultados se puede observar el efecto que tienen los operadores en la eficiencia de los tratamientos. Los mismos confirman con un p-valor menor a  $\alpha$  (0,05) que fue positivo bloquear el análisis (ver anexo 2).

En el cuadro siguiente se puede visualizar la productividad en arb.h<sup>-1</sup> de los operarios evaluados para los dos tratamientos (sistemas de cosecha evaluados).

Cuadro 9. Productividad arb.h<sup>-1</sup> en función de los operadores

Operadores	arb.h <sup>-1</sup>	n	E.E.
1	90,56	17	4,03 A
2	66,66	50	2,35 B
3	62,38	35	2,81 B C
4	60,09	52	2,31 C
5	60,03	50	2,35 C

Los resultados confirman, que por más que los operarios contaban con el mismo entrenamiento y experiencia laboral hay un efecto operador, remarcado en las diferencias estadísticas significativas encontradas entre ellos; siendo superior en ambos sistemas de cosecha evaluados el operador número 1.

Ese efecto operador que marca diferencias entre ellos se atribuye a aspectos inherentes propios del operador, tal lo expresado por Nurminen et al., citados por García (2018). Considerando a su vez, que el efecto del aspecto humano en la productividad es

el resultado de numerosos factores, que además pueden tener interacciones adicionales con otras variables.

Por otra parte, por más que los operarios que trabajaron en ambos sistemas tenían la misma experiencia y habían estabilizado su productividad se encontró diferencia de los operarios entre sistemas, la cual podría estar dada porque los operadores cuando trabajaron bajo el sistema B en el establecimiento “La Alegría” tenían más horas de trabajo productivas que cuando trabajaron bajo el sistema A “Los Nietos”. Entonces se podría decir que esta diferencia de los operarios entre sistemas tendría un efecto poco significativo sobre la productividad, porque como se nombro anteriormente los operadores cuando trabajaron en ambos sistemas ya tenían una estabilidad productiva.

Los que sí se puede concluir es que el operador que fue el mejor para el sistema B, también lo fue para el sistema A y viceversa

## 5. CONCLUSIONES

A partir del análisis técnico de la cosecha forestal mecanizada de *Eucalyptus maidenni* en base a las modalidades estudiadas, harvester y feller-buncher + harvester, se concluye que trabajando en las mismas condiciones, el harvester utilizado para las actividades en simultaneo (apeo, procesamiento y trozado) demostró un rendimiento operacional en arb.h<sup>-1</sup> superior, siendo de esta forma el sistema más indicado para la cosecha de tallares con fustes de bajo volumen por árbol.

Conforme a estos, se puede concluir también que el sistema de cosecha que demostró rendimiento superior causó un menor efecto ambiental y social, viéndose favorecido al utilizar una máquina menos para desempeñar la actividad de cosecha, respecto al otro sistema en evaluación.

A su vez la base de datos aportados por maquinaria forestal permite proyectar diversas hipótesis y estudios a posteriori; donde se podría realizar el mismo análisis pero con volúmenes árboles mayores, a su vez conforme a esto se podría analizar comparativamente el efecto del volumen/árbol sobre los tratamientos y con ello el punto de equilibrio a partir del cual se muestre que volumen/árbol es más eficiente para una modalidad de cosecha respecto a otra, en cuanto a productividad.

A su vez, otra hipótesis podría ser una comparación global del sistema en su totalidad (feller buncher + harvester + forwarder), para ello sería necesario estudiar la productividad del feller buncher y del forwarder.

## 6. RESUMEN

En el presente trabajo, se realiza un estudio de productividad del harvester en dos sistemas diferentes de cosecha forestal, utilizando el método de trozas a medida (CTL). Los objetivos fueron analizar técnicamente la cosecha forestal mecanizada con dos metodologías diferentes; por un lado, feller buncher en apeo de árboles y harvester en tareas de procesamiento y trozado (sistema A), y por otro lado, harvester en apeo, procesamiento y trozado (sistema B). Considerando las variables existentes que inciden en la productividad, se verificó la existencia de diferencias entre los dos sistemas. La base de datos fue extraída de los registros de la maquinaria forestal a través de sus computadoras a bordo (OBC), la cual fue posteriormente analizada estadísticamente con el software InfoStat versión 2018. Los resultados indican que trabajando bajo las mismas condiciones el sistema que utiliza solo harvester y realiza las actividades de apeo, procesamiento y trozado en simultaneo, es más productivo con  $70,01 \text{ arb.h}^{-1}$  (sistema B) respecto a un  $59,23 \text{ arb.h}^{-1}$  en el sistema donde el harvester toma los árboles del suelo (sistema A). De esta manera, en el escenario donde la cosecha se realiza en talleres de *Eucalyptus maidenii* con fustes de bajo volumen por árbol (al menos menor a  $0,16 \text{ m}^3/\text{árbol}$ ), el sistema de harvester haciendo todas las actividades sería la mejor opción. Por otro lado, se observa que variables como los operadores y especialmente el  $\text{vol.árbol}^{-1}$  presentan efecto sobre la productividad.

Palabras clave: Cosecha forestal; Eucalyptus; Productividad; Harvester; Feller buncher; Corte a medida.

## 7. SUMMARY

In the present work, a study of harvester productivity is carried out in two different forest harvesting systems, using cut to length logging methodology (CTL). The objectives were to analyze technically mechanized forest logging with two different methodologies; on the one side, feller buncher felling trees and harvester doing processing, delimiting and bucking tasks (system A), and on the other hand, harvester doing felling, processing, delimiting and bucking tasks (system B). Considering the existing variables that affect productivity, the differences between the two described systems was verified. The database was obtained from forest machinery records through its on board computers (OBC), then it was statistically analyzed with InfoStat version 2018 software. The results indicated that working under the same conditions, the system that uses only harvester, performing the activities of felling, processing, delimiting and bucking in simultaneous, is more productive with  $70.01 \text{ arb.h}^{-1}$  (system B) compared to a  $59.23 \text{ arb.h}^{-1}$  in the system where the harvester takes trees from the ground (system A). Therefore, in the scenario where the logging is carried out on *Eucalyptus maidenii* coppice stands with low volume per tree (at least less than  $0.16 \text{ m}^3 / \text{arb}$ ), the harvester system doing all the activities would be the best option. In addition, it was observed that variables such as operators and especially  $\text{vol.Tree}^{-1}$  have effect on the productivity.

Keywords: Forest logging; Eucalyptus; Productivity; Harvester; Feller buncher; Cut to length.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Akay, A. E.; Erdas, O.; Sessions, J. 2004. Determining productivity of mechanized harvesting machines. *Journal of Applied Sciences*. 4(1): 100-105.
2. Bramucci, M. 2001. Determinação e quantificação de fatores de influencia sobre a produtividade de “harvesters” na colheita de madeira. Tese de Mestre em Recursos Florestais. Piracicaba, Brasil. Universidade de Sao Paulo. Escola de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 65 p.
3. Brown, M.; Strandgard, M.; Acuña, M.; Walsh, D.; Mitchell, R. 2011. Improving forest operations management through applied research. (en línea). *Croatian Journal of Forest Engineering*. 32(2): 471-480. Consultado 19 jun 2019. Disponible en [https://www.formec.org/images/proceedings/2011/formec2011\\_paper\\_brown\\_etal.pdf](https://www.formec.org/images/proceedings/2011/formec2011_paper_brown_etal.pdf)
4. Burla, E. R. 2008. Avaliação técnica e econômica do “harvester” na colheita do eucalipto. Tese de pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Viçosa, Brasil. Universidade Federal de Viçosa. 79 p.
5. Castro, G. P.; Nutto, L.; Malinovski, J. R.; Malinovski, R. A. 2015. Harvesting systems. (en línea). In: Köhl, L.; Pancel, L. eds. *Tropical Forestry Handbook*. Berlin, Springer. pp. 1-34. Consultado 11 jun. 2019. Disponible en [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41554-8\\_184-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41554-8_184-1)
6. Caterpillar. s.f. Equipo forestal. (en línea). Moline, Illinois, Estados Unidos. s.p. Consultado 19 jun. 2019. Disponible en [https://www.cat.com/en\\_US/products/new/equipment/forwarders/forwarder/17784334.html](https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/forwarders/forwarder/17784334.html)
7. Daniluk, G. 2002. Código de cosecha forestal uruguayo. (en línea). Montevideo, Facultad de Agronomía. 90 p. Consultado 17 abr. 2018. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~forestal/cursos/tecmadera/Gustavo/CODIGO%20DE%20COSECHA%20FORESTAL%20URUGUAYO.%20OFICINA.%20V2.pdf>
8. Da Silva, E. 2012. Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas. Tese de pos-graduação em Engenharia Agrícola. Viçosa, Brasil. Universidade Federal de Viçosa. 129 p.

9. García, F. G. 2018. Evaluación de la curva de aprendizaje en operadores de harvester para cosecha forestal mecanizada. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 75 p.
10. IUFRO (International Union of Forestry Research Organizations, SW). Forest work study nomenclature. Garpenberg, Sweden. 22 p.
11. John Deere. s.f. Equipamiento forestal. (en línea). Moline, Illinois, Estados Unidos. s.p. Consultado 9 jun. 2019. Disponible en <https://www.deere.com/en/>
12. Komatsu. s.f. Forest machines. (en línea). Umeå, Sweden. s.p. Consultado 12 jun. 2019. Disponible en <https://www.komatsuforest.com/forest-machines/our-wheeled-harvesters>
13. Machado, C. 2002. Colheita florestal. Viçosa, Universidad Federal de Viçosa. 468 p.
14. \_\_\_\_\_. ed. 2008 Colheita florestal. 2a.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. 501 p.
15. Machado De Assis, S. 2010. Metodología para controle de custos na colheita florestal. Tesis Ing. For. Rio de Janeiro, Brasil. Universidad Federal Rural. Instituto de Florestas. 17 p.
16. Malinovski, J. R.; Malinovski, R. A. 1998. Evolução dos sistemas de colheita de pinus na região sul do Brasil. Curitiba, PR, FUPEF. 138 p.
17. Manisse, G.; Sarries J. P. 2010. Estudio de tiempos y rendimientos en cosecha forestal altamente mecanizada. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 39 p.
18. MGAP. DGRN (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales, UY). 2016a. Consulta CONEAT. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 20 mar. 2019. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/direccion-general-de-recursos-naturales/tramites-y-servicios/servicios/consultas-coneat>
19. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2016b. Descripción de grupo de suelos CONEAT. (en línea). Montevideo. 62 p. Consultado 20 mar. 2019. Disponible en

<http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/direccion-general-de-recursos-naturales/suelos/coneat/grupos-coneat>

20. \_\_\_\_\_. OPYPA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Oficina de Programación y Política Agropecuaria, UY). 2018. Análisis sectorial y cadenas productivas. (en línea). Montevideo. 665 p. Consultado 17 abr. 2018. Disponible en <https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuario%202018/ANUARIO%20OPYPA%202018%20WEB%20con%20v%C3%ADnculo.pdf>
  
21. Moreira, F. M. 2000. Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação. Tese de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de "Magister Scientiae". Viçosa, Brasil. Universidade Federal de Viçosa. 148 p.
  
22. Olivera, A.; Visser, R.; Acuna, M.; Morgenroth, J. 2016a. Automatic GNSS-enabled harvester data collection as a tool to evaluate factors affecting harvester productivity in a *Eucalyptus* spp. harvesting operation in Uruguay. *International Journal of Forest Engineering*. 27:15-28.
  
23. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2016b. Potencial de uso y limitaciones de datos recolectados por cosechadoras forestales: mapas de productividad. (en línea). *In: Jornadas Forestales de Entre Ríos (30<sup>as</sup>, 2016, Concordia). Memorias. s.n.t. pp. 49-54. Consultado 12 jun. 2019. Disponible en [https://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2016/7\\_Olivera\\_JFER2016.pdf](https://www.jornadasforestales.com.ar/jornadas/2016/7_Olivera_JFER2016.pdf)*
  
24. Pereira, D.; Rocha, R. 2017. Evaluación del efecto de la jornada laboral en el rendimiento de cosecha forestal mecanizada. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 55 p.
  
25. Ponsse. s.f. Ponsse ergo 8w (en línea). Vieremä, Finland. s.p. Consultado 2 feb. 2019. Disponible en <https://www.ponsse.com/es>
  
26. Rivas, F.; Suárez, R. 2014. Estudio de tiempos y evaluación de rendimientos de maquinaria de cosecha forestal. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 87 p.
  
27. Santos, A.F.; Da Silva, E. 2018. Produtividades de dois módulos de colheita mecanizada no sistema de toras curtas. (en línea). *In: Congresso Florestal Latino-Americano (7°. , 2018, Vitória, Brasil). Trabalhos apresentados.*

Vitória, Brasil, s.n.t. s.p. Consultado 30 set. 2019. Disponible en <https://even3.blob.core.windows.net/anais/94574.pdf>

28. Skogforsk. 2015. StanForD. (en línea). Sävar, Sweden. s.p. Consultado 13 jun. 2019. Disponible en <http://www.skogforsk.se/english/projects/stanford>
29. Soares Bertin, V. A. 2010. Análise de dois modais de sistemas de colheita mecanizados de eucalipto em 1ª. rotação. Tese para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Botucatu, SP, Brasil. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrônomicas. 74 p.
30. Tigercat. s.f. Cabezales de tala. (en línea). Ontario, Canadá. s.p. Consultado 5 jun. 2019. Disponible en <https://www.tigercat.com/es/products/cabezales-de-tala/>
31. UdelaR. Fcien (Universidad de la República. Facultad de Ciencias, UY). s.f. El clima y su variabilidad en Uruguay. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 12 mar. 2019. Disponible en <http://meteorologia.fcien.edu.uy/Curuguay.html>
32. Uruguay XXI. 2018. Oportunidades de inversión, sector forestal. (en línea). Montevideo. 32 p. Consultado 17 abr. 2019. Disponible en <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/b317a3c1fd161f49a7d16c2c8a86c3487f3dec89.pdf>
33. Uusitalo, J.; Pearson, M. 2010. Introduction to forest operations and technology. Tampere, Finland, JVP forest systems Oy. 287 p.
34. Wagner, S. 2006. Cosecha forestal, estudio de tiempos y rendimientos en operaciones mecanizadas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 51 p.

9. ANEXOS

## Anexo 1.

## Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
arb.h <sup>-1</sup>	204	0,09	0,08	27,34

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5932,79	1	5932,79	19,01	<0,0001
Tratamientos	5932,79	1	5932,79	19,01	<0,0001
Error	63033,42	202	312,05		
Total	68966,20	203			

Test: LSD Fisher Alfa= 0,05 DMS= 4,87733

Error: 312,0466 gl: 202

Tratamientos	arb.h <sup>-1</sup>	n	E.E.
La Alegría	70,01	102	1,75 A
Los Nietos	59,23	102	1,75 B

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

## Anexo 2.

## Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
arb.h <sup>-1</sup>	204	0,26	0,24	24,92

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	17625,10	5	3525,02	13,59	<0,0001
Tratamientos	3682,15	1	3682,15	14,20	0,0002
Operador	11692,32	4	2923,08	11,27	<0,0001
Error	51341,10	198	259,30		
Total	68966,20	203			

Anexo 3.

Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
arb.h <sup>-1</sup>	204	0,13	0,11	26,91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	8800,71	4	2200,18	7,28	<0,0001
Vol. / árbol	8800,71	4	2200,18	7,28	<0,0001
Error	60165,49	199	302,34		
Total	68966,20	203			

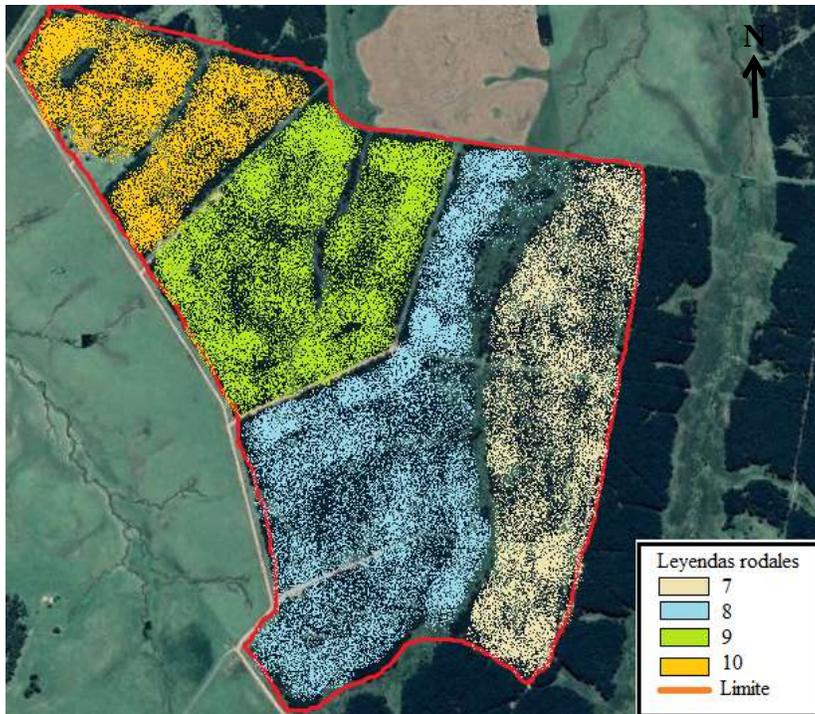
Test: LSD Fisher Alfa= 0,05 DMS= 7,85786

Error: 302,3392 gl: 199

Vol. / árbol	arb.h <sup>-1</sup>	n	E.E.
0,14	77,88	27	3,35 A
0,15	70,41	31	3,12 A B
0,16	64,91	44	2,62 B C
0,10	59,92	49	2,48 C
0,11	58,58	53	2,39 C

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

Anexo 4. Delimitación del establecimiento “La Alegría” y sus rodales



Anexo 5. Delimitación del establecimiento “Los Nietos” y sus rodales

