

UN MODELO DE PREDICCIÓN DEL TIEMPO REQUERIDO PARA EL VOLTEO
Y TROCEADO CON MOTOSIERRA EN UN BOSQUE HUMEDO TROPICAL

Tesis de Grado de Magister Scientiae

Jorge Enrique Rodríguez Baquero



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro Tropical de Enseñanza e Investigación
Departamento de Ciencias Forestales Tropicales
Turrialba, Costa Rica
Marzo, 1972

UN MODELO DE PREDICCIÓN DEL TIEMPO REQUERIDO PARA EL VOLTEO
Y TROCEO CON MOTOSIERRA EN UN BOSQUE HUMEDO TROPICAL

Tesis

Presentada al Consejo de la Escuela para Graduados
como requisito parcial para optar al grado de


Magister Scientiae

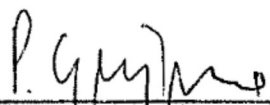
en el

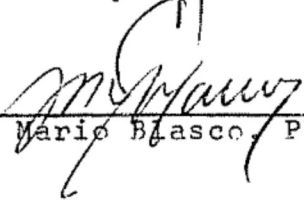
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA

APROBADA:


Thomas A. McKenzie, M.Fk. Consejero


Pablo Posero, M.A. Comité


Pieter Grijpma, I.F. Comité


Mario Blasco, Ph.D. Comité

Marzo, 1972

A mi esposa
A mis hijos

A mis padres
A mis hermanos

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

A su Consejero Principal, Ing. Thomas A. McKenzie, por su valiosa colaboración en el desarrollo del presente trabajo y por las enseñanzas impartidas a través de su formación profesional.

Al Ing. John Phillips por su ayuda y asesoramiento, como Consejero Principal hasta diciembre de 1971.

A los miembros del Comité Consejero: Ing. Pablo Rosero, Ing. Pieter Grijpma, Dr. Mario Blasco, por sus valiosas sugerencias y revisión que hicieron posible este trabajo.

Al IICA, Centro Tropical de Enseñanza e Investigación por la beca otorgada para realizar estudios de postgrado.

Al Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Colombia, por concederle licencia en comisión para la realización de los estudios.

Finalmente expresa su gratitud al Ing. Víctor Quiroga, por su orientación en el análisis estadístico, y a todos sus compañeros de estudio y amigos que en una u otra forma prestaron su cooperación para la realización de esta tesis.

BIOGRAFIA

El autor nació en Bogotá, Colombia el 8 de octubre de 1936.

Realizó sus estudios primarios en el Instituto de La Salle y los secundarios en el Instituto Gran Colombiano, sus estudios universitarios los inició en 1958 en la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas" Bogotá, Colombia, habiéndose graduado como Ingeniero Forestal en el año 1962.

De 1963 a 1965 formó parte de la firma "Posada & Rodríguez Cía Ltda" Ingenieros Forestales.

En 1966 se vinculó al Proyecto "CVM-FAO".

En 1967 se incorporó al Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" Departamento Agrológico, Bogotá, Colombia como Ingeniero Forestal, cargo que continúa desempeñando en la actualidad.

En setiembre de 1970 ingresó a la Escuela de Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, habiendo obtenido el grado de Magister Scientiae en marzo de 1972.

CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 La Motosierra	3
2.1.1 Generalidades	3
2.1.2 Tipos de motosierra	4
2.1.3 Operación de la motosierra	5
2.1.4 Funcionamiento de la motosierra	8
2.2 Organización de Faenas de Explotación	9
2.3 Realización de Estudio de Tiempos	10
2.4 Seguridad del Operador en el Volteo y Troceado	11
2.5 Condiciones de Trabajo	11
2.6 Productividad del Trabajo con Motosierra	12
3. MATERIALES Y METODOS	17
3.1 Localización	17
3.2 Características Climáticas	17
3.3 Diseño del Estudio	18
3.4 Datos Registrados	20
3.5 Herramientas e Instrumentos	21
3.6 Sistema de Trabajo de la Faena	22
3.6.1 Ubicación del árbol para el volteo ...	23
3.6.2 Preparación del árbol para el volteo..	23
3.6.3 Volteo	23
3.6.4 Desrame	24
3.6.5 Troceado	24
3.7 Mediciones	25
3.7.1 Fórmula empleada para el cálculo del volumen	26
3.8 Tiempos Estimados	26
3.9 Análisis Estadístico	27
4. RESULTADOS	29
4.1 Análisis de Correlación	32
4.2 Análisis de Regresión	34
4.3 Predicción del Tiempo Efectivo Total de la Faena de Volteo y Troceado	37
4.4 Tiempos Efectivos Promedios de la Faena	38
4.5 Costos de la Faena	41

	<u>Página</u>
5. DISCUSION	43
6. CONCLUSIONES	50
7. RESUMEN	52
SUMMARY	54
LITERATURA CITADA	56
APENDICES	59

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro</u>		<u>Página</u>
1	Esquema de los tiempos incluidos en el diseño del estudio	19
2	Rendimientos físicos del estudio	20
3	Especies registradas en el estudio	30
4	Producción de los bosques estudiados	31
5	Medias y desviación estándar de las variables registradas	33
6	Matriz de correlación	35
7	Tiempo efectivo promedio total de la faena de volteo y troceado	40
8	Costos por minuto en la faena de volteo y troceado con motosierra	42

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		
1	Diagrama de la motosierra	7
2	Predicción del tiempo efectivo total de la faena de volteo y troceado en minutos por metro cúbico	39

1. INTRODUCCION

La explotación forestal es esencialmente el proceso de convertir los árboles en pie, en trozas disponibles para las plantas de utilización. Mediante la explotación se inicia la fase de la producción industrial de los bosques, la cual representa una importante inversión en mano de obra y maquinaria. En los bosques tropicales el costo del trabajo de extracción constituye un importante renglón económico de la producción maderera. Aumentando la eficiencia de estas operaciones se reduce el costo de la producción industrial.

Sin embargo, hasta ahora, en los bosques tropicales las operaciones de explotación no se han beneficiado en la medida que les corresponde con los adelantos de la ciencia y de la tecnología, y aunque se trata de un trabajo pesado, sigue dependiendo principalmente de la potencia física de hombres y animales. Los países con grandes extensiones boscosas evolucionan constantemente en este sentido, y dedican especial atención a las operaciones básicas de la explotación, vale decir, volteo y troceado, que supere el empleo adecuado de herramientas y equipos, como así mismo de las técnicas de trabajo. La solución a este problema, en especial, en el aspecto de rendimientos, se ha encontrado con la incorporación de la motosierra a las faenas de volteo y troceado.

Este trabajo se concreta al análisis de las actividades de

volteo y troceo con motosierra, especialmente, en el aspecto relacionado con los tiempos empleados en cada operación. La hipótesis original que se había planteado indicaba que la eficiencia en la faena comercial del volteo y troceado con motosierra dependía básicamente, del diámetro de los árboles, de la masa forestal y de la pendiente del terreno.

El objetivo de esta investigación es la predicción del tiempo requerido, con motosierra, en el volteo y troceado en un bosque húmedo tropical de Costa Rica, en operaciones que se consideran comerciales.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1 La Motosierra

2.1.1 Generalidades

Desde hace muchos siglos el hombre está desarrollando las herramientas y equipos forestales con el fin de facilitar las pesadas labores de explotación de bosques. Ha perfeccionado el hacha, dándole un temple y un peso adecuado para cada tipo de faena, y ha introducido importantes mejoras en los sistemas de dientes de sierras manuales, que les permiten más duración y mayor efectividad en el trabajo. Sin embargo, estas herramientas exigen un gran esfuerzo físico a los obreros que operan con ellas (7).

La necesidad de aumentar los rendimientos, debido a la gran demanda de productos forestales, juntamente con la de mejorar las condiciones de vida de los obreros forestales, disminuyendo el esfuerzo físico en el trabajo y aumentando en cambio sus remuneraciones, indujo al perfeccionamiento de elementos mecánicos que hoy día están siendo usados con mucho éxito en la mayoría de los países desarrollados de tradición forestal en el mundo (10). Entre otras, la motosierra es la que ha alcanzado un mayor grado de perfeccionamiento, y es, al mismo tiempo, el elemento mecánico más difundido en las faenas de explotación de bosques (4).

Existen muchos tipos de motosierra, sin embargo, podemos

definirla en forma general "como una herramienta que consta fundamentalmente de un motor portátil que impulsa una sierra de cadena, la cual se desliza por una barra porta-cadena, permitiendo hacer cortes para volteo, troceado o desrame de árboles" (8).

En 1870 se construyó, sin mucho éxito, la primera motosierra para faenas de explotación. Consistía en una hoja dentada, unida directamente al cigüeñal de un motor a vapor, que por su movimiento alternativo permitía el troceado (9). En los últimos 50 años se ha introducido una gran cantidad de innovaciones en este tipo de maquinaria; sin embargo con pocas excepciones, hasta comienzos de la Segunda Guerra Mundial no había sido satisfactoria desde el punto de vista económico para permitir su amplio uso en el bosque (6).

2.1.2 Tipos de motosierra

Es difícil hacer una clasificación de los tipos de motosierra debido a su gran variedad. Sin embargo, si se hace desde el punto de vista del sistema de propulsión, se pueden clasificar en tres grandes grupos:

- a. Propulsadas por aire comprimido
- b. Propulsadas por energía eléctrica
- c. Propulsadas por motor a combustión interna

Dentro de estos tres grandes grupos se tiene: la sierra circular con diente trozador (brush cutter), la sierra de cadena con diente triangular, la sierra de cadena con diente escoplo o

"chipper chain" y la sierra de cadena con diente triangular y escoplo (6).

El tipo de motosierra propulsada por motor de combustión interna y con sierra de cadena con diente escoplo es la más utilizada en el mundo y está desplazando casi completamente a la de cadena convencional con diente triangular (7). Existen actualmente más de 40 firmas que se dedican a su fabricación, pudiéndose encontrar en el mercado un gran número de modelos con diferentes sistemas de propulsión (4, 6, 7, 8).

2.1.3 Operación de la motosierra

La motosierra o sierra de cadena propulsada por motor de combustión interna de dos tiempos, es una herramienta que está compuesta de dos elementos principales (Fig 1):

- Un motor de dos tiempos, destinado a producir la energía necesaria para la sierra.
- Una guía porta-cadena (h), con sierra de cadena (i), ensamblada al motor de combustión.

El motor propiamente dicho es usualmente de un cilindro, con sus lumbreras de admisión y escape, con sistema de barrido por compresión en el cárter, sistema de biela, manivela y pistón (4). Esta tiene un carburador de diafragma (c) lo que permite que trabaje en cualquier posición. Funciona accionado por las diferencias de presión que se producen en el cárter del motor.

El sistema de encendido se basa en un volante magnético acoplado al sistema de cigueñal con un interruptor de corriente y un circuito primario y secundario que eleva el voltaje, lo suficientemente para producir la chispa en la bujía (6). El funcionamiento del interruptor está sincronizado con la fase de compresión de la mezcla en el cilindro y opera mediante una muesca en el extremo del eje cigueñal solidario el volante magnético. El sistema de refrigeración es por circulación forzada de aire producido por aspas del volante magnético en su parte posterior.

El sistema de arranque (j) es normal y consiste en una pioleta de cuerdas de nylon que se enrolla a una polea solidaria con el eje cigueñal y le permite, mediante un sistema de cuerda y engranaje, volver a enrollarse sola cuando se tira (7, 8, 9). El acoplamiento del motor a la cadena se produce por medio de un embrague centrífugo (e). Este permite que la cadena no avance cuando el motor trabaja a baja revolución, basta con operar el acelerador (p) para que se produzca el acoplamiento y gire la cadena. Este sistema impide que la cadena gire cuando el motor está trabajando a baja velocidad, permitiendo transportar a distancias cortas la motosierra sin necesidad de detenerlo.

Existen motosierras con transmisión directa o con reducción de engranajes (g). La velocidad del embrague en estas motosierras alcanza alrededor de 2.600 r.p.m. La velocidad de avance de la cadena sin carga es de 1.150 m/min y a plena carga 850 m/min aproximadamente. Esto se traduce en que la cadena puede efectuar

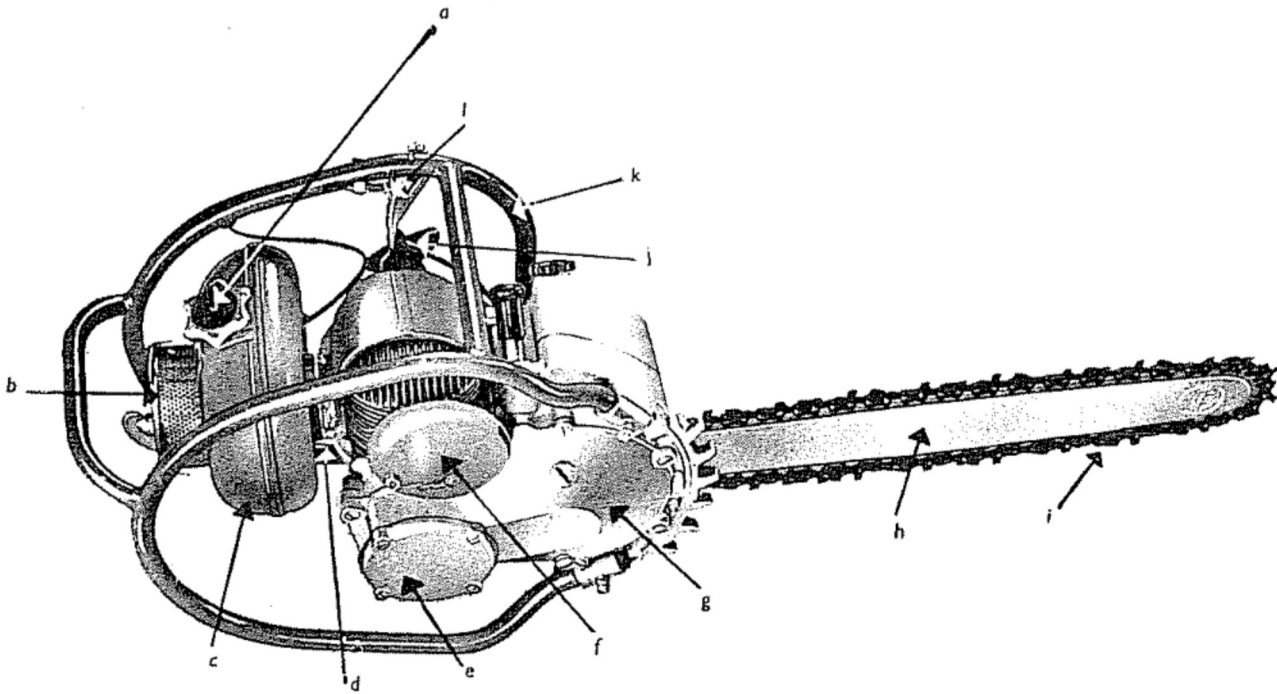


Fig 1— Diagrama de la motosierra

- a) Tanque de la gasolina, b) Filtro de aire, c) Carburador, d) Botón de encendido, e) Embrague,
 f) Silenciador, g) Caja de engranajes, h) Guía porta cadena, i) Sierra de cadena, j) Arranque,
 k) Marco, l) Acelerador.

más de 18,000 impactos cortantes por minuto (4, 9).

En cuanto a la potencia y eficacia, ésta se ha ido acrecentando. Así tenemos que un modelo del año 1947 que pesaba 13,5 Kg tenía 3 HP de potencia; hoy día tenemos que un modelo que pesa 8 Kg puede tener una potencia de 5,5 HP (6). Otros adelantos técnicos que han hecho más factible y económico el uso de la motosierra son: el nuevo sistema de carburación mediante membranas (diafragma) por medio de la cual la motosierra puede trabajar en cualquier posición, incluso invertido totalmente. Esto dá como resultado un ahorro de tiempo considerable. Además el nuevo sistema de embrague centrífugo (e) mediante zapatas de acero hace más rápido el trabajo, sobre todo entre un corte y otro en el trozado (7).

2.1.4 Funcionamiento de la motosierra

Cuando el motor está frío, es necesario disminuir la entrada de aire para aumentar la proporción de gasolina que ingresa al cilindro. Esto se logra mediante un botón de encendido (d), ubicado en la empuñadura, que al presionarse estrangula la entrada de aire. El motor debe funcionar 2-3 minutos sin carga hasta lograr su temperatura ideal de trabajo. Bastará con acelerarlo para que la cadena comience a girar (7, 9).

Paralela a la espada, en la base de ésta, hay una lámina de acero con puntas muy agudas denominada fijador de corteza, que sirve para apoyar la máquina sobre el tronco en cualquier

posición. Esto disminuye mucho el esfuerzo físico del operario, pues le bastará solamente, con apoyar la máquina en el fijador y hacer palanca para que la guía porta cadena penetre, sin necesidad de sostenerla (4, 6, 8, 9, 18).

2.2 Organización de Faenas de Explotación

Según Fernández (6), existen tres sistemas diferentes de explotación de árboles de acuerdo al lugar en que se realiza el troceado y el desrame. El primero y más común, consisten en voltear, desramar y trocear los árboles en el bosque mismo apilando esta madera a orillas de los caminos para ser cargada en camiones y transportada a la industria. El segundo consiste en voltear y proceder al desrame en el bosque. Luego, los árboles se maderean enteros hasta una cancha de troceado para ser transportados posteriormente a la industria. Y el tercer método, que está aún en etapa de experimentación en muchos lugares, consiste en el volteo del árbol, y su acarreo entero hasta un patio en que se desrama, se trocea y se carga sobre el camión, que lo transportará hasta la industria.

En Chile, la motosierra sólo se ocupa para el volteo y troceado; el desrame se hace con hacha (5). Sin embargo, estudios efectuados por Fernández (6), recomiendan el uso de la motosierra para todas las faenas de explotación de bosques en este país, debido al ahorro en tiempo que su uso representa.

Dentro de las faenas de volteo, troceado y desrame de

árboles con motosierra, existen muchas alternativas para la organización de equipos de trabajo. Pueden formarse cuadrillas de uno, dos, tres, cuatro, y excepcionalmente cinco operarios equipados con motosierra y herramientas manuales (6, 10, 13).

2.3 Realización de Estudio de Tiempos

Barnes (2), recomienda, para el caso de aplicación de estudios de tiempos, considerar las siguientes etapas básicas:

- a. Obtener y registrar información sobre la operación y operario que se estudia.
- b. Dividir la operación en fases y anotar una descripción completa del método.
- c. Observar y registrar el tiempo utilizado en cada una de las fases por el operario.
- d. Evaluar la actuación del operario.
- e. Determinar el tiempo para la operación.

El mismo autor observa las fases del estudio de tiempos utilizando un cronómetro, que pueden llevarse a cabo en el momento y sitio de ejecución de la operación. Las fases mencionadas anteriormente comprenden: división de la operación en subdivisiones, hacer una lista de estas subdivisiones por orden de ejecución, cronometraje de los mismos y registro de las lecturas, anotación y registro de la marcha del operario y actuación en general.

Con base en un estudio de tiempos se puede evaluar las fases de la actividad que se desarrolla; indicando en cuál de ellas se ha empleado el mayor tiempo o si se está empleando muy poco tiempo en el desarrollo de una fase en particular. Un operario no puede trabajar a la misma marcha durante la totalidad del ciclo. El estudio de tiempos permite la aplicación de recomendaciones para cada fase del trabajo que se desarrolla.

2.4 Seguridad del Operador en el Volteo y Troceado

La motosierra es un instrumento de trabajo muy efectivo, pero al mismo tiempo muy peligrosa. Por lo cual se debe tener cuidado en su manipulación (6). La faena de volteo es la de mayor peligro en la explotación de los bosques. A veces un golpe de viento fuerte puede desviar la dirección de caída de un árbol, o dejarlo en posición de equilibrio inestable, apretando la guía portacadena de la motosierra. Otras veces puede quedar sujeto por lianas o bejucos de los árboles vecinos con el peligro de caer en el momento menos esperado (8, 9).

2.5 Condiciones de Trabajo

La motosierra es, sin lugar a dudas, una herramienta pesada. El esfuerzo que se hace dura menos tiempo en cada corte, porque el trabajo con la motosierra es más rápido que con herramientas manuales, pero a su vez es mucho más difícil. Debido a su peso la motosierra es una máquina que hace incómodo su transporte, ya sea para llevarla al lugar de trabajo como durante la faena (5).

El consumo de energía por el hombre, trabajando con motosierra, es superior al que consume empleando herramientas manuales, debido a que la rapidez del trabajo exige un transporte continuo de la máquina entre un corte y otro, que termina por cansar en exceso al operario (10). Este factor puede aumentar el número de operarios que componen una cuadrilla, suponiendo que un hombre se dedique a trocear y voltear con la motosierra y el resto a desramar los árboles con hacha (6).

2.6 Productividad del Trabajo con Motosierra

Según Van Laar (29), en un estudio realizado en plantación de Pinus pinaster, en Western Cape Province, para el volteo y troceado con motosierra, encontró que el tiempo observado para la motosierra es un 50% más bajo que el observado para sierra manual. Los cálculos de los costos revelan que para árboles de diámetro pequeño es más económico usar las sierras manuales, pero para árboles de diámetro mayor de 40 cm los costos unitarios del volteo y troceado son reducidos con el uso de la motosierra. Indica también que existen grandes diferencias entre las diferentes marcas de las motosierras en cuanto a rendimiento de éstas.

Campos y Christiansen (3), con el propósito de conocer la eficiencia de los métodos de motosierra, troceador y hacha, en la ejecución del corte y troceado de árboles, comparan dichos métodos cuando se trabaja con tres tipos de madera, dura, semi-dura y blanda; obteniendo los siguientes resultados. En madera

blanda no existió diferencia de costos entre los métodos; en cambio hubo diferencias en el trabajo con madera dura y semidura, en las cuales el costo por m^3 por turno de cinco horas de trabajo con motosierra fué muy inferior al de hacha y troceadora, y el de troceadora tuvo ligera ventaja sobre el hacha. En cuanto a costo unitario, la diferencia se acentúa más cuando aumenta el jornal.

En estudio realizado por Einsenhauer y Motherspoon (5) en Chile, encontraron los siguientes resultados en tiempo y rendimientos en las faenas de volteo, desrame y troceado. Para trabajo dirigido, obtuvieron un rendimiento total por hora-hombre de $2,5 m^3$; y para trabajo no dirigido, encontraron un rendimiento total de $2,25 m^3$ por hora-hombre. Comparando estas dos cifras se observa que en el rendimiento del trabajo no dirigido es un poco inferior: debido a esto, que siendo en ambos casos el rendimiento para trozar muy similar, se puede concluir que el volteo no dirigido implica un mayor tiempo. A la vez Ulloa y Torrealba (28), encontraron que el mayor rendimiento por hora-hombre se obtuvo con equipo de un sólo hombre para la faena de volteo y troceado.

Klagges (13), en estudio de rendimientos de las faenas de volteo y troceado de Pino insignie (Pinus radiata D. Don), observó el volteo de árboles, registrando datos físicos y tiempos empleados en cada operación. Los resultados fueron analizados exhaustivamente hasta llegar a la conclusión de que era conveniente reducir el tiempo empleado en el troceado por incidir en

forma muy elevada (más del 50%), en el tiempo total de la faena.

En lo que respecta a la distribución de los tiempos. Fernández (6), anota que el volteo y el troceado, son las operaciones más cortas de la faena, constituyéndose el desrame como operación que requiere más tiempo. Los tiempos muertos y generales, también alcanzan un alto porcentaje y dice que se pueden disminuir con una mayor y más adecuada mantención de la motosierra en el bosque.

Miller y Johnson (21) mencionan que los costos, en términos de tiempo de volteo, fueron afectados por la extrema variabilidad de las características de los árboles. Las características más particulares para el aumento del tiempo de volteo fueron:

- a. Inclínación del árbol.
- b. Bifurcación muy baja, con relación a la copa, lo cual representó un segundo corte.
- c. Rajaduras, lo cual requería más cortes.

Shell (24), en su estudio demostró que el efecto del sitio sobre el volteo y troceado incidió en la cuadrilla de tres operarios con motosierra. Igualmente dice que en sitios de plantaciones jóvenes, en donde los promedios de los árboles fueron menores de 6 pulgadas D.A.P. (diámetro de altura de pecho), se necesitó más tiempo para el derribo de árboles que forman una cuerda, que el empleado en sitios naturales similares. Sin embargo, para árboles con diámetros promedios mayores de 6 pulgadas,

la eficiencia del equipo fue mayor en sitio plantado que en sitio natural. Esta diferencia está probablemente asociada con la existencia de árboles pequeños bajo una densa plantación joven. El promedio del equipo de dos hombres para el volteo y el troceo fue más eficiente que el promedio del equipo de tres hombres. Dividiendo las operaciones de volteo y troceado en tres grupos de acuerdo al terreno, la producción promedio fue 2,96 hora-hombre por cuerda en terreno plano; 3,03 hora-hombres en terreno ondulado, y 3,91 hora-hombre en terreno pendiente. Los efectos reales de las especies sobre los tiempos de volteo y troceado fueron probablemente ocultos por otras variables.

Thapliyal y Sood (27), en investigación realizada sobre la comparación económica de la motosierra con la sierra de mano en el volteo y trabajando con la especie (Shorea robusta), encontraron que el uso de la motosierra para voltear árboles con diámetros superiores a 30 cm el costo fue más bajo que para la sierra de mano. Las diferencias en costo aumentaban con el incremento del diámetro de los árboles.

Por otra parte, Konda (14) señala que en trabajo efectuado en Jannaram (India) se encontró un ahorro en madera con el empleo de la motosierra para el volteo y el troceo. Debido a esto los madereros de la región, ahora utilizan únicamente la motosierra para el trabajo de volteo.

Moura (22), en trabajo realizado en Angola llegó a las

siguientes consideraciones con respecto a los rendimientos de la motosierra para el volteo y troceado:

- a) Hay un apreciable aumento de rendimiento físico.
- b) Acentuada disminución de costo por unidad producida de la operación.
- c) Mejor aprovechamiento de la madera, por razón de que el corte de volteo es más perfecto que el efectuado con herramienta manual.
- d) Disminución del esfuerzo físico de operación traduciéndose en trabajo más suave y atrayente.

Le Ray (15), en un ensayo de volteo mecánico con una sierra manejada por un hombre, en una explotación forestal de "La compagnie française des bois du Gabon" en que fueron volteados 165 árboles con diámetros de 70 cm hasta 190 cm, encontró que se reducen las rajaduras a consecuencia del volteo con motosierra. También indica que los rendimientos obtenidos se traducen en una economía de la madera y una disminución del tiempo empleado en la faena.

Tailfer (26), en trabajo realizado en los bosques congole- ses trató el problema del volteo con hacha, justificando en forma resumida el empleo de ésta, mejor aún que la motosierra. El autor describe los procedimientos empleados en relación con la circunferencia de los árboles y comenta detalladamente la dirección de caída del árbol y la aparición de grietas; además dice que fue mayor el tiempo empleado en la faena con este tipo de herramienta.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización

Este estudio se realizó en las haciendas "El Cortijo" y "Guayacán", ubicadas en el Cantón de Siquirres, Provincia de Limón, Costa Rica. Se eligieron estos fundos por ser representativos dentro de las explotaciones donde se usan motosierras en la faena de volteo y troceado, y por ser una muestra de la situación en el bosque húmedo tropical.

3.2 Características Climáticas

Según el mapa ecológico de Costa Rica, preparado por Holdridge (11), la zona donde se encuentra situada el área base del estudio, corresponde a la formación de Bosque Húmedo Tropical. Es decir, la precipitación se halla comprendida entre valores de 2.000 a 4.000 mm anuales. La temperatura media es de 24°C, y la altura promedio es de 630 m; orográficamente pertenece a la Cordillera de Talamanca, en las últimas estribaciones de su descenso hacia el mar.

La época lluviosa va de abril a enero, aunque se encuentra dividida por una segunda época seca mucho más corta que se verifica al rededor de setiembre. Por eso el mes más seco con excepción de La Lola y Limón, corresponde a marzo y setiembre para las dos estaciones mencionadas. Pero el grupo consecutivo de tres meses relativamente secos cae en la misma época en todas

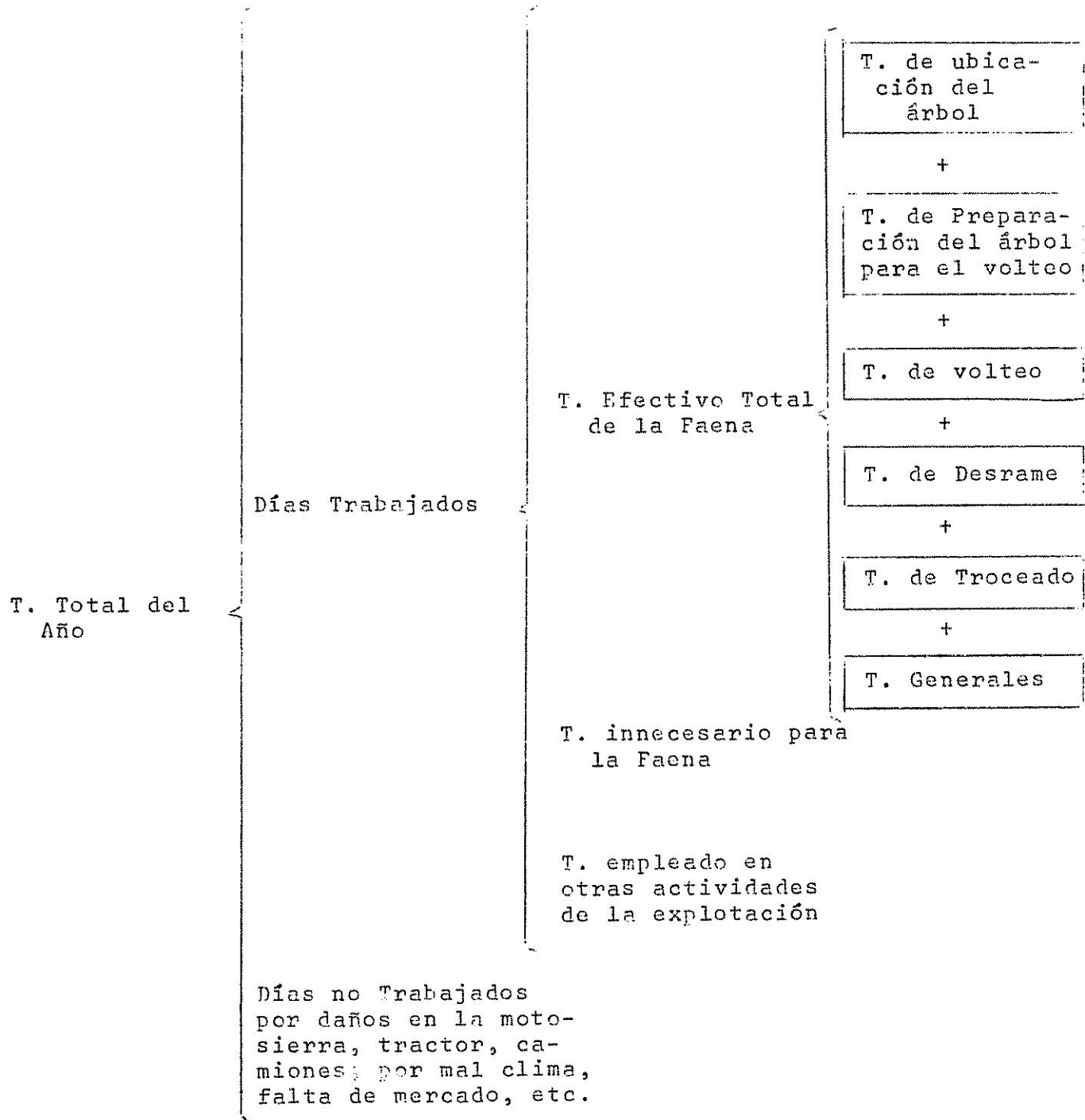
las estaciones, de febrero a abril. Por otra parte la región en los meses de noviembre a enero, especialmente en diciembre, se halla sujeta a la influencia de masas de aire frío que se originan en el Norte (Alaska, Canadá, Estados Unidos), que se estrellan contra la cordillera produciendo aguaceros continuos de intensidad variables, que pueden durar varios días, y que localmente son conocidos por "temporales" (1).

3.3 Diseño del Estudio

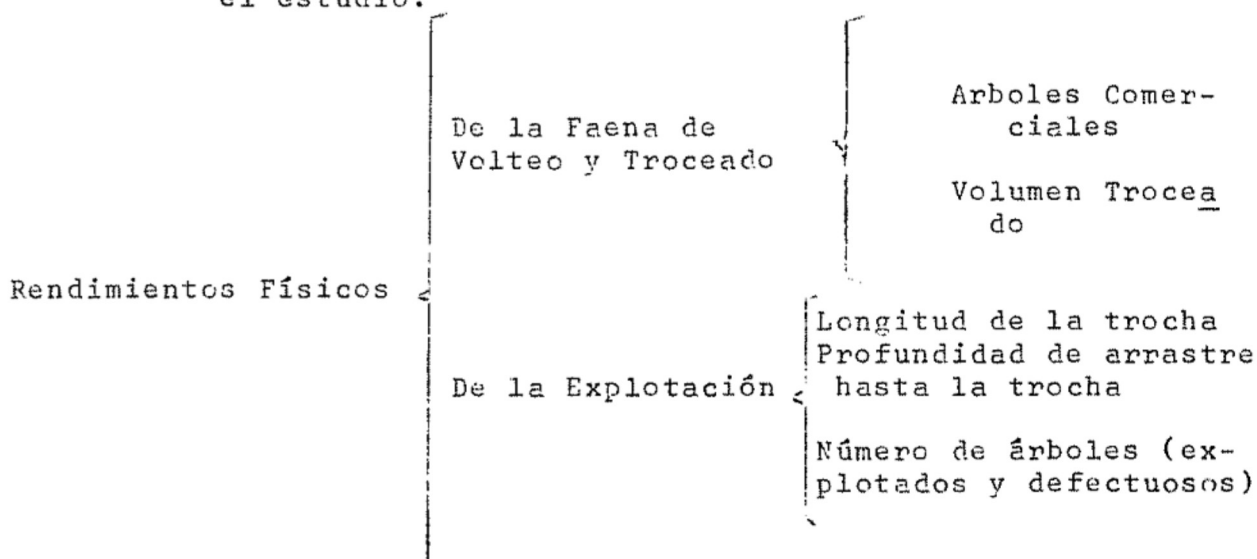
Este estudio fue diseñado para medir tiempos y rendimientos físicos de la faena de volteo y troceado con motosierra, en condiciones normales del trabajo comercial. Para el análisis de los tiempos y rendimientos físicos de la faena, se siguió el modelo del Cuadro 1, el cual permitió hacer más fácil la obtención del objetivo del presente estudio.

Los rendimientos físicos, obtenidos en este estudio, se encuentran en el Cuadro 2. En lo referente a los rendimientos de la faena se tradujeron en árboles comerciales y su volumen troceado; y las de la explotación se refieren al número total de árboles (explotados y defectuosos), así como también el número de hectáreas en las cuales se efectuó la explotación. Estos rendimientos físicos fueron expresados en metros cúbicos y hectáreas respectivamente.

Cuadro 1. Esquema de los tiempos incluidos en el diseño del estudio.



Cuadro 2. Esquema de los rendimientos físicos contemplados en el estudio.



3.4 Datos Registrados

Se registran datos de 85 árboles como muestra representativa del bosque durante 25 días de trabajo. Para cada árbol se tomaron los siguientes datos: diámetro sobre corteza, a la altura de corte (D.A.C.) y a la altura de pecho (D.A.P.), nombre de la especie, número de trozas cortadas de cada árbol, diámetro y longitud de cada troza, (cuando hubo necesidad de realizar un corte de despunte de la troza para el arrastre, el diámetro se midió en la parte superior de este corte). También se registraron los tiempos efectivos y generales en minutos y segundos de: ubicación del árbol para voltear, preparación del árbol para el volteo, volteo, desrame y troceado. Los registros individuales fueron pasados a tarjetas de IBM, para su computación (ver Apéndice).

De los 85 árboles mencionados anteriormente, sólo a cinco de ellos, no se les tomó el tiempo de desrame ni de troceado,

por cuanto al momento de caer se notaron defectuosos y fueron rechazados para su utilización. Igualmente de este número de árboles a 61 de ellos únicamente se les tomó el tiempo de ubicación del árbol para el volteo, debido a que en oportunidades fueron ubicados grupos de dos o tres árboles, especialmente de la especie cedro macho, y se consideró un solo tiempo de ubicación para el grupo.

3.5 Herramientas e Instrumentos

Durante el tiempo que duró el estudio se utilizaron en la faena observada únicamente:

2 motosierras marca McCulloch, modelo 895, con un peso aproximado de 13,2 Kg. Longitud de la hoja 36 pulgadas.

Cadenas de la motosierra de marca McCulloch, constituidas por eslabones en forma de "dientes de paleta" fabricados con una aleación especial para madera dura.

2 tanques: uno para gasolina con capacidad de 1 galón y otro para aceite de 1/2 galón.

1 machete

1 Equipo con limas y llaves para mantenimiento de la motosierra.

Los instrumentos empleados por el observador fueron:

1 brújula marca Suunto

1 clinómetro marca Suunto

1 reloj cronómetro marca Ingraham, con división en minutos y segundos

- 1 forcípula de acero
- 1 cinta diamétrica de 5 m
- 1 cinta métrica de 10 m

3.6 Sistema de Trabajo de la Faena

Para los fines de este estudio hubo un operario encargado de la motosierra, sin ayudante.

Las obligaciones del operario fueron: ubicación del árbol para el volteo, preparación del árbol para el volteo, volteo, desrame y troceado. El volteo se efectuó siempre en la dirección hacia donde iba la trocha de extracción, avanzando en línea paralela a ésta. Esto impidió que quedaran árboles en pie delante de los que se iban volteando, y obstaculizaran el trabajo de arrastre. El número de árboles que se voltearon por día estuvo de acuerdo con la capacidad de los dos camiones con que cuenta la compañía para el transporte y fue de 5 a 6 árboles. Además de las obligaciones anteriores también debía lubricar, proveer de combustible, y en general mantener la motosierra en buenas condiciones (afilada, tensión de la cadena, reaprete, etc.). Sin embargo, bajo las condiciones observadas, y debido a la planificación de la explotación, el operario tuvo otras actividades, tales como: ayudar al tractorista en la apertura de las trochas para el arrastre y también colaborar en la carga de los camiones en el patio de troceado.

3.6.1 Ubicación del árbol para el volteo

La faena propiamente dicha, se considera que comienza con la ubicación del árbol que se ha de voltear. Al iniciar esta ubicación el observador inició la medición del ciclo de trabajo de la faena; así como también la medición del tiempo efectivo de esta operación. Una vez que el árbol estuvo identificado y se hubo cortado los bejucos, lianas y malezas, se terminó la operación de ubicación, así como la medición del tiempo de ésta.

3.6.2 Preparación del árbol para el volteo

Una vez ubicado el árbol, se comenzó la preparación de este para ser volteado, y la medición del tiempo efectivo; esta preparación consistió en cortar los bejucos, lianas y plantas herbáceas que están a su alrededor para facilitar el volteo. Terminada la operación se anotó el tiempo empleado. No se observó la construcción de plataformas u otros arreglos para la operación de volteo.

3.6.3 Volteo

El volteo se inició haciendo un corte de dirección, en este momento el observador inició la medición del tiempo efectivo de esta operación, el cual tuvo una profundidad variable de aproximadamente (1/5 del diámetro), según el D.A.P. del árbol. Luego se hizo un corte de caída que permitió dejar una bisagra que impidió al árbol rotar sobre su base y de esta forma

únicamente cayera en la dirección deseada (ver Apéndice, Fig 4). En ningún caso se observó el uso de cuñas o de palancas en el volteo. Al caer el árbol se terminó esta operación y la medición de su tiempo.

3.6.4 Desrame

Una vez volteado el árbol, se comenzó a cortar las ramas y el observador inició la medición del tiempo efectivo de esta operación; también se efectuó con motosierra y consistió en dejar totalmente limpio el fuste y alejar un poco las ramas para facilitar el arrastre. En esta operación se incluyó el descope. Al terminar la operación se anotó el tiempo efectivo empleado.

3.6.5 Troceado

El troceo lo efectuó el mismo operario en el patio de carga (ver Fig 7, Apéndice 1). Al iniciar esta operación, el observador comenzó a medir el tiempo efectivo, se troceó empezando por el diámetro mayor y se trabajó hacia la base del diámetro menor, de acuerdo con las necesidades de la operación de la carga. Se cortaron trozas de las siguientes longitudes: 5,35 m; 3,48 m; 2,68 m y 251 m, de acuerdo con la utilización deseada (chapa y aserrío respectivamente). Una vez finalizado el troceo se anotó el tiempo efectivo empleado en la operación; comenzándose nuevamente el ciclo de toma de tiempos de la faena, siguiéndose en esta forma todas las etapas descritas anteriormente.

En cada una de las operaciones de la faena, anteriormente descritas, también se midió: tiempo general e innecesario, los cuales se describen así:

Tiempo general - Se consideró el tiempo utilizado en la reparación y mantenimiento de la motosierra, e igualmente, el tiempo empleado por el operario en pausas realizadas para: descansar, almorzar, tomar café y refrescos, necesidades personales y medición de los fustes para trocear.

Tiempo innecesario - Correspondió al tiempo que transcurrió mientras el tractor halaba las trozas desde el sitio de volteo hasta el patio de carga y regresaba nuevamente. También se incluyó el tiempo empleado en la actividad de elaboración de trocha para el arrastre.

3.7 Mediciones

El diámetro a la altura de corte (D.A.C.) de cada árbol que se volteó, se midió con cinta diamétrica en centímetros, anotándose en la hoja de control. Luego se marcó con un número la base del árbol volteado, el cual sirvió para identificarlo durante todo el proceso de extracción, y en el momento del troceado. La longitud de los fustes de cada árbol se midió con cinta métrica después de efectuado el volteo.

3.7.1 Fórmula empleada para el cálculo del volumen

La fórmula empleada para el cálculo del volumen de las trozas obtenidas fue la de Smalian:

$$V = \frac{A + a}{2} L$$

donde:

V = Volumen

A = Area basal mayor

a = Area basal menor

L = Longitud

Este cálculo fue hecho para obtener el volumen aprovechable al nivel de la explotación observada y en base a los criterios de la industria. En cada árbol se midió el diámetro mayor y menor, dentro de la corteza, de las trozas y su longitud.

3.8 Tiempos Estimados

El tiempo total del año para la explotación observada se estimó de la siguiente manera:

En Costa Rica se trabaja 6 días a la semana, dando un máximo de 312 días al año. De estos 312 días, para el caso de este estudio, se dedujeron: 45 días por el mal clima (lluvias fuertes); 15 días por daños de partes básicas de la motosierra y 8 días festivos, según la estimación del dueño de la explotación, en base a sus observaciones a través de la experiencia en esta clase de trabajo. En consecuencia el número de días trabajados en el año ascendió a 244.

En cuanto a los días trabajados se estimó así:

Se registró la hora al momento de iniciar el trabajo de la explotación y al finalizar este cada día, de esta manera se obtuvo el número total de horas trabajadas por día en la explotación. Ahora bien, como el tiempo efectivo total de la faena fue medido así como también el tiempo innecesario, entonces se obtuvo por diferencia, con el total de horas trabajadas, un tiempo residual, el cual correspondió a otras actividades distintas a la faena del volteo y troceado.

Por lo que hace relación con los días no trabajados durante el año, fueron estimados en la forma descrita anteriormente.

3.9 Análisis Estadístico

Con el objeto de conocer el grado de correlación (r) y de asociación (R^2), de las variables estudiadas, se efectuó un análisis de correlación entre las variables independientes y las variables dependientes, que destacó el objetivo del estudio. Estos cálculos fueron procesados en la Unidad de Estadística y Computación Electrónica del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, que posee equipo IBM 1130.

Se utilizaron los modelos de regresión lineal, cuadrática, geométrica y logarítmica, para determinar el mejor ajuste entre las variables; siempre y cuando el grado de correlación encontrado fue mejor, con respecto a la variable independiente, común a las seis operaciones de la faena. Se adoptó el modelo

de regresión más indicado para formar parte del modelo de predicción deseado.

4. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del bosque y su desarrollo en un modelo de predicción para la faena del volteo y troceado con motosierra, en bosque húmedo tropical. El modelo propuesto está formado por seis componentes, cada uno de ellos tiene características de importancia para el tiempo total de la faena y su sencilla identificación en el bosque. Estas relaciones, entonces, están transformadas fácilmente en la productividad de la faena de volteo y troceado con motosierra.

En cuanto a las condiciones de los bosques en que se hicieron los estudios, estas fueron muy similares. En "Guayacán" el bosque tuvo 8,9 árboles por hectárea y el bosque explotado en "El Cortijo" tuvo 8,6 árboles por hectárea. Los diámetros de los árboles variaron desde 80 cm hasta 115 cm. Las pendientes del terreno nunca superaron al 75%, estimándose un promedio de 40%. La altura sobre el nivel del mar fue de 630 m. Las especies que fueron explotadas se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Especies registradas en este estudio*.

Nombre Científico	Nombre Vulgar	Familia
1. <u>Dialyanthera otoba</u> (Humb & Bampol)	Fruta dorada	MYRISTICACEAE
2. <u>Guarea</u> sp.	Caobilla	MELIACEAE
3. <u>Carapa guianensis</u>	Cedro macho	MELIACEAE
4. <u>Hieronyma tectissima</u> Standley R. L. Williams	Pilón	EUPHORBIACEAE
5. <u>Vantanea borbourii</u>	Chiricano	HUMIRIACEAE
6. <u>Virola sebifera</u>	Fruta dorada	MYRISTICACEAE

* Fournier, L. A. Catedrático Asociado, Departamento de Biología, Universidad de Costa Rica.

Los datos observados en el bosque están representados en el Cuadro 4. Las diferencias entre los bosques de las dos fincas no fueron apreciables, especialmente en cuanto a la masa forestal disponible. Este hecho hizo difícil elaborar elementos en un modelo que correspondiera a las variaciones de la masa forestal que se puede encontrar en bosques tropicales. Sin embargo, esta uniformidad de la masa forestal estudiada, sirvió para continuar el análisis de los otros componentes que sí influyeron en la faena.

El porcentaje de los defectos encontrados en los árboles explotados, fue de 6%, lo cual se considera normal para bosques húmedos tropicales.

Cuadro 4. Producción de los bosques estudiados.

Lugar	Área Estudia da (Ha)	Número de Árboles Observ. Por Ha	Tro- dos ceados	PRODUCCION				Total (m ³)	
				Trozas	Chapa		Aserrio		Aserrio
					Chapa	Chapa			
Total				No Trozas	No Trozas	Volumen (m ³)	Total (m ³)		
Finca "El Cortijo"	6,0	52	49	178	127	51	291,51	103,81	395,32
Finca "Guayacán"	3,7	33	31	94	69	25	168,44	45,56	214,00
TOTALES	9,7	85	80*	272					609,32

* La diferencia entre los árboles observados y los troceados se debió a los árboles que se voltearon pero no se trocearon por tener pudrición del duramen "corazón negro".

El volumen mayor correspondió a las trozas destinadas a la industria de la chapa y fue igual a 459,95 metros cúbicos. Para las trozas destinadas a la industria del aserrío el volumen fue de 149,37 metros cúbicos. El volumen total de la explotación, durante el tiempo de observación fue de 609,32 metros cúbicos, correspondiendo el mayor volumen al bosque explotado en la finca "El Cortijo".

La longitud y diámetro de las trozas estuvo de acuerdo con la finalidad de su uso y fueron las siguientes:

<u>Madera para Chapa</u>	Longitudes*
Diámetro mínimo 80 cm	5,35 m
	2,68 m
 <u>Madera para Aserrío</u>	
	5,35 m
Diámetro mínimo 80 cm	3,48 m
	2,51 m

4.1 Análisis de Correlación

Como primer paso se llevó a cabo un análisis de las 13 variables por medio de la estimación de la media y la desviación estándar de cada una (Cuadro 5). Un análisis de la matriz de

* Las dimensiones de las trozas son las aceptadas por las industrias de chapa y aserrío respectivamente.

Cuadro 5. Medias y desviación estándar de las variables registradas

Variables	Nº de Observ.	Media	Desviación Estándar
A. Variables observadas:			
Diámetro del árbol (X_2)	85	0,91	0.096
Tiempo efectivo de preparación de volteo en minutos (X_4)	85	2,93	0.096
Tiempo general de preparación de volteo en minutos (X_5)	85	6,66	4.585
Tiempo efectivo de volteo en min (X_6)	85	8,06	3.155
Tiempo general de volteo en min (X_7)	85	7,71	3.560
Tiempo efectivo de desrame en min (X_8)	78	4,65	2.099
Tiempo general de desrame en min (X_9)	78	3,11	11.106
Tiempo para ubicar los árboles en min (X_{10})	61	7,70	7.835
Pendiente del terreno en % (X_{11})	80	0,39	0,194
Número de trozas (X_{12})	80	3,40	1.038
Tiempo efectivo de trozado en min (X_{13})	80	7,92	3.614
Tiempo general de trozado en min (X_{14})	80	1,85	1.876
Volumen (X_{15})	80	7,51	2.523
B. Variables generadas:			
Tiempo general troceado min/m^3 (X_{16})	80	2,70	3.051
Tiempo preparación de volteo min/m^3 (X_{17})	85	0,43	0.800
Tiempo volteo min/m^3 (X_{18})	85	1,12	1.887
Tiempo desrame min/m^3 (X_{19})	78	0,71	0.326
Tiempo para ubicar árboles min/m^3 (X_{20})	61	1,02	1.362
Tiempo efectivo de troceado min/m^3 (X_{21})	80	1,13	0.350

NOTA: Las variables (X_1), (X_3), entraron como número de árbol y nombre de la especie, por esta razón no se registran en este Cuadro de medias y desviaciones estándar.

correlaciones de las variables (Cuadro 6) facilitó el estudio de las interrelaciones de las variables entre sí.

La matriz de correlación básica indicó que las relaciones más interesantes por medio del análisis de (r) para fines de este estudio fueron: el tiempo efectivo de volteo en minutos por metro cúbico con el número de trozas ($X_{18} - X_{12}$); tiempo efectivo de troceado en minutos por metro cúbico con el número de trozas ($X_{21} - X_{12}$). Además el tiempo efectivo de volteo en minutos con diámetro del árbol ($X_8 - X_{12}$) y tiempo efectivo de troceado en minutos con el volumen ($X_{13} - X_{15}$) merece atención de acuerdo con la hipótesis original del estudio. La variable dependiente de tiempo efectivo en minutos por metro cúbico tiene interés especial porque es la parte básica del modelo de predicción, objeto del estudio.

4.2 Análisis de Regresión

Como se mencionó en el Capítulo de Materiales y Métodos, se probaron los modelos de regresión lineal, cuadrática, geométrica y logarítmica, para conseguir el mejor ajuste entre las variables independientes que tuvieron una correlación alta con la variable dependiente, éstas fueron: tiempo efectivo de volteo en minutos por metro cúbico con el número de trozas, y tiempo efectivo de trozado en minutos por metro cúbico con el número de trozas.

Para la relación tiempo efectivo de volteo en minutos por

Cuadro 6. Matriz que expresa la estructura de correlación (r) de las variables en el volteo y troceado con motosierra

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21
X1	1.000																				
X2	.025	1.000																			
X3	.171	-.272	1.000																		
X4	-.084	.255	.001	1.000																	
X5	.113	.026	-.040	.243	1.000																
X6	-.126	.798	.295	.171	-.048	1.000															
X7	-.323	.039	-.082	.125	-.067	.089	1.000														
X8	-.184	.273	-.164	.188	.056	.385	.096	1.000													
X9	.079	.107	-.092	.084	.023	.113	-.043	.296	1.000												
X10	-.192	-.007	-.099	.036	-.237	.071	.061	.268	.016	1.000											
X11	.195	.080	-.017	.010	-.080	.250	-.053	.336	.082	.071	1.000										
X12	-.350	-.198	.060	-.123	-.000	-.021	.176	.332	-.004	.075	.447	1.000									
X13	-.189	.234	-.046	-.005	.036	.279	.151	.421	.040	.032	.441	.846	1.000								
X14	-.252	-.103	.045	-.132	-.099	-.056	.205	.145	-.020	.198	.131	.344	.324	1.000							
X15	-.221	.328	-.143	.025	-.004	.400	.197	.515	.039	-.040	.447	.758	.893	.255	1.000						
X16	-.109	.067	.087	-.014	.054	.088	.215	.048	.090	.069	.323	.313	.350	.117	.344	1.000					
X17	.212	.230	.123	.491	.121	.046	-.077	-.330	-.022	-.091	-.365	-.647	-.503	-.254	-.534	-.218	1.000				
X18	.335	.365	.001	.037	-.010	.190	-.162	-.463	-.038	-.129	-.432	-.778	-.570	-.266	-.607	-.235	.706	1.000			
X19	-.204	-.128	-.041	.197	.006	.025	-.017	.706	.287	.380	.196	.039	-.088	.040	.068	-.118	-.160	.350	1.000		
X20	-.197	-.092	-.088	.045	-.228	-.011	.045	.194	-.000	.957	.043	.008	-.083	.149	-.176	.028	-.028	-.087	.456	1.000	
X21	-.356	-.337	.064	-.045	-.019	-.138	.056	.301	.055	.271	.411	.773	.609	.277	.361	.195	-.521	-.685	.363	.292	1.000

NOTA: La codificación de las variables se encuentra en el Cuadro 5.

metro cúbico con el número de trozas, resultó como mejor modelo el cuadrático. El modelo matemático usado en el desarrollo de este estudio fue el siguiente, con un coeficiente de confiabilidad de $R^2 = 0,37$:

$$Y = 2.53336 - 0.504587 X + 0.023318 X^2$$

Con base en esta regresión la predicción general fue la siguiente:

Número de Trozas	Tiempo Efectivo de volteo en min/m ³
1	2.0821
2	1.6474
3	1.2594
4	0.9181

Estos valores corresponden a la curva de volteo (en la Fig 2).

Para la relación, tiempo efectivo de troceado en minutos por metro cúbico con el número de trozas, se encontró ajuste con el modelo logarítmico. El modelo matemático usado en el desarrollo de este estudio fue el siguiente, con un coeficiente de confiabilidad de $R^2 = 0,59$:

$$Y = 0.00406 X^{4.598135}$$

Con esta regresión la predicción general fue la siguiente:

Número de Trozas	Tiempo Efectivo de Troceado en min/m ³
1	0.0040
2	0.0983
3	0.6344
4	0.3816

Estos valores corresponden a la curva de troceado (en la Fig 2).

4.3 Predicción del Tiempo Efectivo Total de la Faena de Volteo y Troceado

De acuerdo con el objetivo del presente estudio, en la Fig 2 se muestra la formulación de la predicción del tiempo efectivo total, requerido en la faena del volteo y troceado con motosierra en la explotación de un bosque húmedo tropical. Se presentan cuatro operaciones de la faena que se consideraron constantes, y corresponden a los tiempos efectivos en minutos por metro cúbico para la ubicación del árbol, preparación del árbol para el volteo, desrame y tiempos generales. Para estas operaciones de la faena no se hizo predicción de sus tiempos, debido a que no estuvieron correlacionadas con el número de trozas por árbol, que fue una de las variables importantes del modelo propuesto; en razón de que presentó correlación con las otras dos actividades básicas de la faena, vale decir, volteo y troceado. Por tanto estos tiempos son constantes e independientes del número de trozas por árbol; los promedios suman 3,20 minutos por metro cúbico, y son respectivamente: 1,02; 0,43; 0,71; 1,04 para la ubicación del árbol, preparación del árbol para el volteo,

desrame y tiempos generales.

Se presentan también las relaciones entre las otras dos operaciones para completar la faena, en las variables de tiempo efectivo en minutos por metro cúbico para el volteo y el troceado. Con base en las regresiones anteriormente mencionadas se trazaron las curvas de predicción para estas dos operaciones de la faena. Finalmente, se presenta la suma de las seis operaciones; o sea la que corresponde a la predicción del tiempo efectivo total en minutos por metro cúbico de la faena del volteo y troceado.

En conclusión, la Fig 2, se presenta como el modelo para la predicción del tiempo efectivo en el volteo, y troceado, con motosierra, para los bosques húmedos tropicales; siempre y cuando el número de trozas por árbol sea conocido.

4.4 Tiempos Efectivos Promedios de la Faena

En el Cuadro 7 se representan los tiempos efectivos promedios y sus porcentajes para cada operación, actualmente observada dentro de la faena total del volteo, desrame y troceado. Todos los tiempos observados corresponden a trabajo individual; es decir, el caso de un operario equipado con motosierra dedicado al volteo, desrame y troceado en bosque húmedo tropical y en topografía accidentada. Por tanto, el modelo de predicción de tiempos no se debe aplicar a cuadrillas de más de un operario, o en

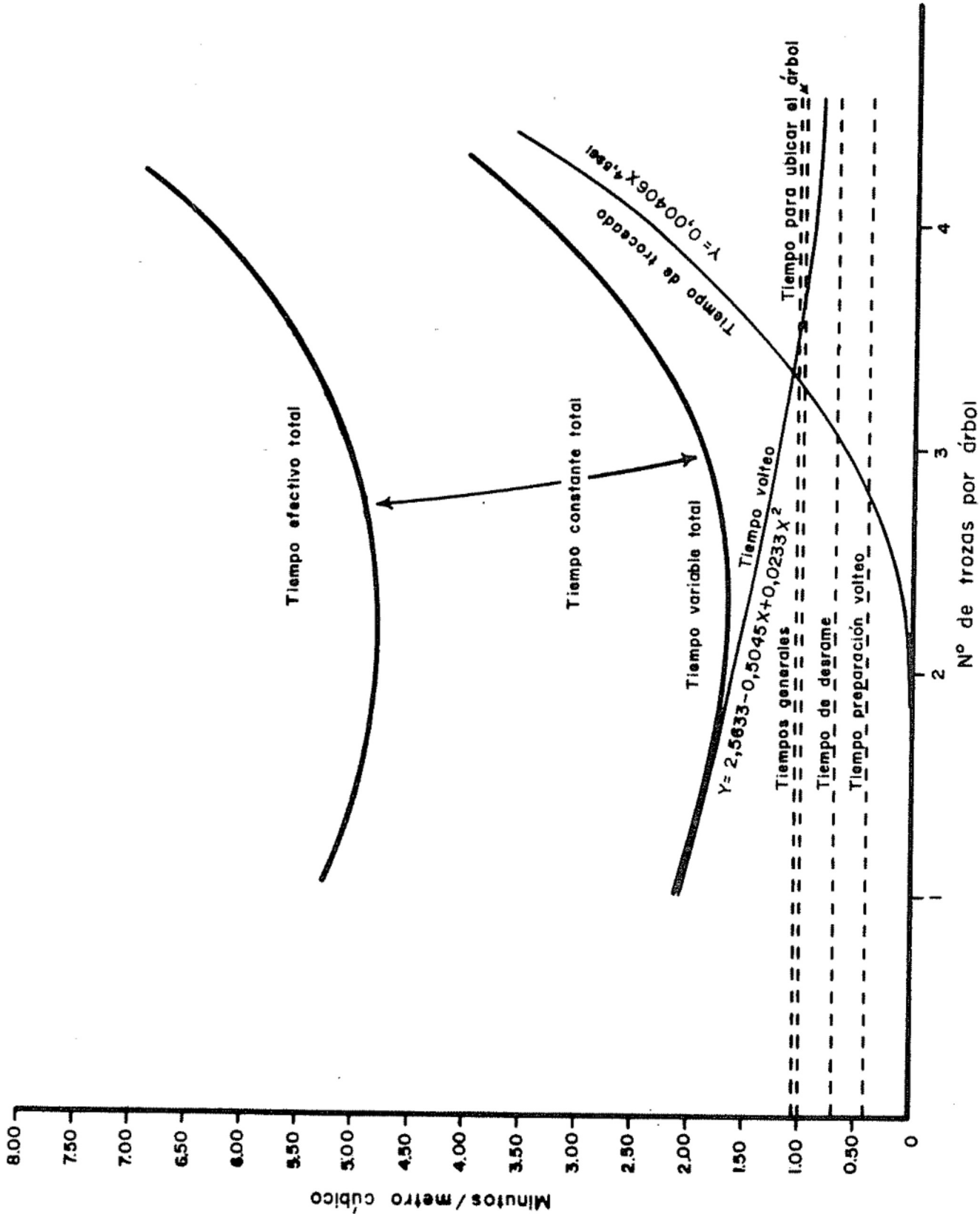


Fig.2 - Predicción del tiempo efectivo total de la faena de volteo y troceo en minutos/m³

condiciones muy diferentes a las observadas en la investigación previa sobre la conformidad de la producción que se encuentra en tales circunstancias.

Cuadro 7. Tiempo efectivo promedio total y porcentajes de la faena de volteo y troceado (3,3 trozas por árbol), volumen por árbol 7,51 m³, diámetro promedio 91 cm D.A.P.).

Faena	Tiempo Efectivo Promedio min/m ³	Porcentajes
Ubicación del árbol para el volteo	1,02	18,7
Preparación del árbol para el volteo	0,43	8,0
Volteo	1,12	20,5
Descope y desrame	0,71	13,0
Troceado	1,13	20,7
Generales	1,04	19,1
Tiempo Promedio Total	5,45 min/m³	

En el Cuadro 7 también se indican los tiempos efectivos de las diferentes operaciones de la faena del volteo y troceado, en términos de porcentaje. Interpretando los resultados se observa que el troceado y el volteo fueron las operaciones que mayor tiempo registraron, y ocuparon casi el 50% del tiempo total de la faena. Los tiempos generales siguieron en importancia y tuvieron un porcentaje casi igual al de los tiempos individuales de volteo y troceado. Resulta también interesante observar como el porcentaje del tiempo gastado en ubicar el árbol para voltearlo fue

relativamente alto. El porcentaje del tiempo correspondiente a la operación del desrame fue más bajo, al igual que el tiempo de preparación del volteo.

4.5 Costos de la Faena

Un estudio de actividades comercialmente importante resultaría incompleto si no se estableciera además los costos correspondientes a la faena. En este estudio se establece que el objeto es presentar una estimación de tiempo requerido para producir un metro cúbico en la faena de volteo y troceado con motosierra, que sirva para orientar en este aspecto a los madereros, en el uso de la motosierra, económicamente en la explotación forestal.

Entonces, en este estudio, el costo de operación de la motosierra se refiere al tiempo efectivo total de la faena (Cuadro 8). Cabe destacar también que el pago del operario no es hecho por medio de contrato para realizar la faena en un tiempo determinado; sino que recibe un sueldo mensual. Por tanto la remuneración del operario es una situación que se considera común en Costa Rica; lo cual hace que no varíe con su rendimiento.

Cuadro 8. Costos por minutos en la faena de volteo y troceado con motosierra.

Costos	Costo por Minuto en Colones
COSTO INICIAL	
₡3.500 Valor de la Motosierra Interés capital 12% anual Interés por año ₡420,00 ÷ 73.200 min. de la faena/año es = al costo capital/min.	0.0573
DEPRECIACION	
3.500 ÷ 1.220 horas efectivas/año; o sean 73.200 min de la faena/año	0.048
COSTOS VARIABLES	
HERRAMIENTAS	
6 limas por mes ₡25,00 por año ₡300 ÷ 73.200 min. de la faena por año	0.044
GASOLINA	
1 galón por día 244 días efectivos en el año 244 galones a ₡3,33 el galón ₡812,52 ÷ 73.200 min/año	0.011
ACEITE	
2 onzas por día a ₡0,68 por 244 días al año ₡165,92 ÷ 73.200 min/año	0.002
REPARACIONES	
₡850 por año ÷ 73.200 minutos efectivos al año	0.012
MANO DE OBRA	
₡860 por mes, al año 10.300 ÷ 73.200 minutos efectivos al año	0.014
Costo Total	₡ 0.22/minuto

5. DISCUSION

Al analizar los resultados de este estudio, se enfatiza principalmente en la presente discusión, sobre la Fig 2. Se debe entender que el modelo propuesto representa una síntesis del trabajo, y por lo tanto es importante para la comprensión de la faena del volteo y troceado.

Hay cuatro funciones matemáticas que se consideraron constantes con respecto al número de trozas por árbol, por cuanto no afectaron el tiempo requerido para tales etapas de la faena. Estas actividades necesarias y constantes fueron: tiempo efectivo para ubicación del árbol, preparación del árbol para el volteo, el desrame y tiempos generales de las diferentes operaciones. Estas funciones están representadas en la Fig 2, por las cuatro curvas horizontales, trazadas con líneas interrumpidas.

Las otras dos actividades necesarias e importantes en la faena corresponden a las de volteo y troceado. Las relaciones de tiempo, requeridas para estas actividades muestran la característica sobresaliente del estudio. La observación de la Fig 2, indica que mientras el tiempo de volteo disminuye, el número de trozas por árbol aumenta; lo cual es contrario a lo observado por Fernández (6). Analizando lo observado en el bosque, así como también este resultado, para conocer el por qué sucedió esto, se puede deducir que para árboles de longitudes considerables,

vale decir, 18 a 22 m, los cuales dan de cuatro a cinco trozas, su tiempo de volteo fue menor, debido a que por lo general, estos árboles presentaron ramas gruesas dispuestas hacia un lado del eje central del fuste, posiblemente por acción del viento. Esto representó una caída del árbol más rápida, ya que esta inclinación del árbol hacia un lado hizo que antes de terminar el corte de volteo el árbol se desprendiera; fenómeno que no sucedió para árboles de longitudes menores.

También es importante notar que el tiempo de troceado va aumentando a medida que el número de trozas por árbol se va haciendo mayor; pero esto se debió a que se necesitó realizar mayor número de cortes para producir más trozas. También es interesante observar que para producir una troza el tiempo de troceado fue igual a cero. Esto se explica porque tratándose de árboles comerciales los fustes más pequeños que fueron cortados dieron dos trozas, para lo cual se necesitó un solo corte y el tiempo efectivo empleado fue mínimo. Por otra parte si se tratara de un árbol muy corto, que apenas diera una troza, entonces únicamente se necesitaría el corte de volteo y el corte de descope.

La pendiente del terreno no tuvo influencia en la eficiencia de la faena, debido a que existió muy poca variación de este factor durante el tiempo de observación para este estudio. También se puede ver en el Cuadro 5 que los coeficientes de variación para la pendiente fueron 50%, lo cual es realmente muy

bajo para bosques naturales y en terrenos accidentados. Este resultado fue contrario a lo expuesto en la hipótesis original en donde se mencionaba como uno de los más importantes para el desempeño de la faena del volteo y troceado con motosierra. Sin embargo se puede comprender este resultado debido al efecto de la poca coordinación de las faenas, el cual se tuvo en cuenta a la vez. Si se hubiera tenido más prisa en el desempeño de la operación del volteo, o con un nivel de eficiencia más elevado, es probable que la pendiente hubiera podido afectar la faena en forma más variable.

El diámetro de los árboles fue también eliminado como factor variable, en la eficiencia de la faena del volteo y troceado, en razón de que, como en el caso de la pendiente, no se registraron variaciones considerables entre los 85 árboles observados. Este resultado también fue contrario a lo expuesto en la hipótesis original, en donde se planteaba que el diámetro de los árboles era uno de los factores más importantes en la eficiencia de la faena. Sin embargo, se debe considerar que si hubiera existido una mayor variación del diámetro de los árboles, posiblemente hubiera tenido una incidencia en el tiempo requerido para la faena. Por otra parte, para los árboles con diámetros mayores se presentó, en el momento del volteo, la quiebra de los fustes, ocasionando una pérdida de volumen proporcional al aumento del diámetro; esto se debió a la falta de técnica del operario en esta operación de la faena. Por lo anterior, es

notable que los árboles con diámetros mayores no rindieron mayores volúmenes, y se puede esperar lo mismo con respecto a la eficiencia de la faena con los árboles de alturas mayores. observando en la Fig 2 el marcado aumento del tiempo efectivo total relacionado con el aumento del número de trozas por árbol.

Otro factor, en el que no se pudo observar su incidencia en los resultados de la faena estudiada fue la influencia de la masa forestal. La ausencia de variaciones en las masas forestales observadas, se debió a que los dos bosques estudiados fueron muy uniformes en cuanto al número de árboles por hectárea y al aprovechamiento comercial esperado. Este resultado impidió confirmar lo planteado en la hipótesis original. Sin embargo, es de esperarse que con masas forestales mayores de la observada, o diámetros promedios muy inferiores a los observados, habrá incidencia sobre el tiempo de volteo por cuanto habrá un mayor número de árboles por hectárea, pero tal vez, el tiempo para la ubicación del árbol será menor por cuanto la distancia entre árboles será menor también.

Es muy importante reconocer que los tiempos innecesarios, la falta de coordinación entre las operaciones de la faena y entre las faenas de la explotación observada, estuvieron afectando el rendimiento del maderero. Se observó que los tiempos innecesarios se debieron, precisamente, a la falla del planeamiento estricto de la explotación en la mayoría de los casos observados. Por ejemplo: el tiempo utilizado en esperar que el tractor

llevara los fustes hasta el patio de carga y regresara al bosque. Este tiempo se hubiera podido aprovechar en el volteo de otros árboles; pero no fue así. En total, se estima que 30% del día trabajado fue dedicado a otras tareas distintas del volteo y troceado, y un 10% correspondió a tiempos innecesarios. Si hubiera existido una planificación mejor, la utilización de la capacidad de producción de la faena del volteo y troceado hubiera sido más elevada que la observada.

Del Cuadro 5 se puede inferir que los tiempos generales observados para cada una de las operaciones de la faena, fueron los que tuvieron una mayor variación; en particular el tiempo general de desrame. Pero esto se debió a que el operario tuvo tendencia, en algunos casos, a descansar después de esta operación; mientras que en otras oportunidades realizó su trabajo en forma continua. Para los tiempos efectivos de las operaciones específicas se puede observar que estuvieron más homogéneas, y no se registraron variaciones notables en ninguna operación de la faena.

Otro aspecto interesante de discutir es el relacionado con los costos de la faena. En el caso del presente estudio, donde los bosques tuvieron un buen número de árboles comerciales por hectárea, lo cual evidentemente justificó el interés en la explotación, se nota que los costos fijos de la faena observada estuvieron debidamente ajustados por medio de las horas trabajadas por año, de acuerdo con la forma de planificar el trabajo.

Otro aspecto de la faena estudiada consistió en la observación de una deficiencia que se encontró a través del estudio, debida a que sólo un operario estuvo encargado de la motosierra. Pero si en el desarrollo del trabajo de volteo y troceado hubiera tenido un ayudante, su producción hubiera sido algo mayor, con una reducción de tiempo en algunas operaciones de la faena.

Finalmente se da un ejemplo de la aplicación del modelo propuesto para la predicción del tiempo requerido en la faena del volteo y troceado en un bosque húmedo tropical. El propósito es relacionar la predicción del tiempo con sus efectos económicos en base al presente estudio. Para esto se supone un bosque en el cual los árboles se estima que tienen un promedio de 3,5 trozas por árbol. La observación de la Fig 2 muestra que para este bosque correspondería un tiempo efectivo de volteo y troceado de 5,50 minutos por metro cúbico.

También es necesario saber que las condiciones del sitio, en donde se encuentre este bosque sean similares a las del bosque estudiado; es decir, un terreno accidentado con promedio de 40% de pendiente y un número de árboles comerciales por hectárea de 9. Luego la estimación del costo de la faena sería calculado en $₡0,22/\text{minuto} \times 5,50 \text{ minutos de producción} = ₡1,21 \text{ por metro cúbico producido}$.

Igualmente se puede calcular el período de corta en base

al tiempo efectivo total del volteo y troceado para una masa forestal dada; por ejemplo, se tiene un rodal con 8.500 m³ en pie cuyos árboles tienen un promedio de 3,5 trozas. En este caso el período corresponde a un tiempo efectivo de 5,50 minutos por metro cúbico, luego:

$$8.500 \times 5,50 = 46.750 \text{ minutos en total;}$$

o sea 779 horas efectivas de trabajo para esta faena.

En resumen, cuando se considere un bosque para explotar, se debe tener en cuenta para la faena del volteo y troceado, además de los factores contemplados en el modelo propuesto en este estudio, otros factores externos de la faena propiamente dicha. Estos factores son: la masa forestal y su densidad, la planificación general de la explotación, el clima y sus variaciones estacionales, y los productos que se van a obtener. Sin contar con un análisis de estos factores, no se podrá obtener una producción del bosque efectiva, como se demostró en el presente estudio.

6. CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio permiten observar las siguientes conclusiones:

1. La predicción del tiempo efectivo total en la faena del volteo y troceado con motosierra, está relacionada con el número de trozas por árbol en el bosque húmedo tropical estudiado.
2. La predicción del tiempo efectivo total es de utilidad práctica para los madereros que trabajan en bosques similares al estudiado, porque ellos miden el potencial de los bosques, por el número de trozas que pueden producir los árboles.
3. El diámetro de los árboles y la pendiente del terreno no tuvieron una incidencia directa en la eficiencia de la faena del volteo y troceado, desaprobando así la hipótesis original planteada en este estudio.
4. No existió coordinación estrecha entre las distintas fases de la explotación; es decir, se trabajó sin aprovechar al máximo la capacidad del tiempo disponible para volteo y troceado.
5. El tiempo empleado en preparar el árbol para el volteo, se constituyó como el elemento más bajo dentro de la faena en su tiempo total. Su impacto fue menos que la mitad comparado con las otras operaciones en la faena. Ni la pendiente

del terreno, ni la dispersión de los árboles o el estar estos cubiertos de bejucos, tuvieron mucha influencia en esta parte del trabajo.

6. Entre las actividades observadas hubo cuatro que no varían en el tiempo requerido, de acuerdo con el número de trozas del árbol: tiempo de preparación de volteo, tiempo de desrame, tiempo de ubicación del árbol y tiempos generales. Estos constituyeron 58,9% del tiempo total de la faena estudiada.
7. El tiempo de volteo disminuyó con el aumento del número de trozas por árbol, mientras el tiempo de troceado aumentó marcadamente. Estas dos variables cambiaron de acuerdo con el número de trozas por árbol, y ellas representaron 41,1% del tiempo total de la faena.

7. RESUMEN

En esta investigación se analizó la faena del volteo y troceado con motosierra, en un bosque húmedo tropical. El objetivo principal del estudio fue encontrar un modelo que permitiera predecir el tiempo efectivo total en la faena del volteo y troceado para producir trozas comerciales.

Este trabajo se realizó por un operario equipado con motosierra McCulloch, modelo 895. La ubicación de los bosques estuvo en las fincas "El Cortijo" y "Guayacán", del Cantón de Siquirres, Costa Rica. La densidad de los bosques fue de 9 árboles por hectárea. La pendiente del terreno en promedio fue de 40%. Estos bosques y sus condiciones forestales representaron situaciones típicas del bosque húmedo tropical.

El modelo desarrollado en el estudio fue: tiempo efectivo total de la faena = tiempo para ubicar el árbol + tiempo de preparación de volteo + tiempo de volteo + tiempo de desrame + tiempo de troceado + tiempos generales de la faena. En base a esto se hizo el análisis de correlación múltiple, entre las trece variables observadas, encontrándose mayor relación en el comportamiento de las actividades de tiempo efectivo de volteo y troceado con el número de trozas por árbol.

Para las seis actividades representadas en el modelo se probaron las regresiones: lineal, cuadrática, geométrica y

logarítmica para encontrar las mejores ecuaciones predictivas para la faena. Se presentaron, en base a estas regresiones, los resultados en el gráfico de la predicción del tiempo efectivo total de la faena por metro cúbico en relación al número de trozas por árbol.

La producción del bosque, durante el tiempo de observación, fue de 272 trozas provenientes de 80 árboles con diámetro promedio de 91 cm, y un volumen total de 609,32 metros cúbicos. El tiempo efectivo total en promedio fue de 5,45 minutos por metro cúbico de producción.

Como aplicación de los datos económicos de este estudio se puede ver que el costo de la faena del volteo y troceado se estimó en $\text{Q}0,22$ por minuto. Con este costo y el modelo de pronóstico, se puede calcular el tiempo efectivo total en un bosque con 3,5 trozas por árbol. Este requiere un tiempo efectivo total de 5,50 minutos por metro cúbico; es decir que el costo es de $\text{Q}1,21$ por metro cúbico de producción de trozas comerciales.

Se concluye que el modelo propuesto en esta investigación es factible de usar en bosques húmedos tropicales similares al estudiado. Las variables del modelo para observar, son las que el maderero notará en su trabajo normal; y las actividades importantes de la faena actual guardan una clara relación en su comportamiento, que nos permitirá pronosticar el tiempo efectivo requerido en la faena del volteo y troceado con motosierra.

SUMMARY

In this study the factors affecting the falling and bucking operations with powersaw in a humid tropical forest were analyzed. The main objective was to develop a model which would predict the total effective time needed in falling and bucking to produce commercial logs.

The working crew considered was only one man with a McCulloch 895 powersaw. The area under study was on two farms; "El Cortijo" and "Guayacán" in the Canton of Siquirres, Costa Rica. The stocking of the forest was 9 trees per hectare. Side slopes were on the average 40%. It is considered that these forest conditions are typical of tropical humid forests.

The model developed in this study is: total effective time of the crew = time to locate the tree + time to prepare for falling + time for falling + time for limbing + time for bucking + time generally needed for the operation of the crew. Using this basic model, multiple correlation analysis of thirteen variables was used, from which it was concluded that the principal activities of falling and bucking were related to the number of logs per tree.

For each of the six activities of the basic model, the regression equations of linear, quadratic, geometric and logarithmic form were tried to find the best fit for the prediction

equations. The results of these regression analyses are presented in graphic form as the predictive model of total effective time per cubic meter of commercial logs produced related to the number of logs per tree.

The study observations included 272 logs which were produced from 80 trees, with an average diameter of 91 centimeters. The total volumen harvested during the periods of observation were 609,32 cubic meters. The average total effective time per cubic meter produced was 5,45 minutes.

Application of the economic data from this study reveals an average cost for falling and bucking of $\text{Q}0.22$ per minute. Using such data and the predictive model in a forest with 3,5 logs per tree, one would require 5,50 minutes to cut each cubic meter; this means an estimate of $\text{Q}1.21$ per cubic meter for commercial log.

It is concluded that this study presents a practical model for forecasting falling and bucking activities in humid tropical forests similar to there studied in Costa Rica. The variables of the model are those normally observed by woodsmen; and the activities described by the model are those which are the most important in falling and bucking, and are consistent with forecasting the work required in falling and bucking with powersaw.

LITERATURA CITADA

1. BAPTISTA, L. P. La región de Guayacán, Costa Rica y sus posibilidades como reserva biológica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1967. 115 p. (Mimeografiada).
2. BARNES, R. M. Estudio de movimientos y tiempos. Traducción del inglés por C. Paz. 4ª ed. Madrid, Aguilar, 1962. 575 p.
3. CAMPOS, R. y CHRISTIANSEN, P. Estudio comparativo de tres métodos en el corte y trozado de árboles con relación al grado de dureza. Revista Forestal (Perú) 1(2):29-47. 1967.
4. CHRISTIANSEN, P. Inversión de máquinas en la explotación del bosque tropical en el Perú. Revista Forestal (Perú) 1(1):26-32. 1966.
5. EISENHAUER, G. y WOTHLERSPOON, A. Estudio de racionalización de las faenas y saca en una plantación de Pinus radiata. Chile, Universidad Austral. Publicación Científica n° 14. 1969. 39 p.
6. FERNANDEZ, E. Empleo de la motosierra en faenas de explotación en bosques de Pinus radiata D. Don. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, 1966. 100 p. (Mimeografiada).
7. FOSSA, H. Introducción y uso de herramientas en trabajos forestales. Santiago, Chile, Instituto Forestal. Boletín Informativo n° 10. 1965. pp. 42-46.
8. _____ et al. Manual de herramientas de explotación forestal. Santiago, Chile, Instituto Forestal, 1966. 184 p.
9. GADANT, J. Techniques et matériels d'exploitation forestiere. París, Ecole Forestiere de Meymac, 1961. 297 p.
10. HARTUNG, M. y RAETS, G. H. Capacidad física y rendimiento de obreros forestales en diferentes condiciones climáticas del trópico. Boletín del Instituto Forestal Latinoamericano n° 26:3-31. 1968.
11. HOLDRIDGE, L. R. Life zone ecology. San José, Costa Rica, Tropical Science Center, 1964. pp. 17-45.

12. JOHNSTON, J. Métodos de econometría. Traducción del inglés por A. Y. Herranz. 2ª ed. Barcelona, Vicens-Vives, 1970. 300 p.
13. KLAGGES, R. Estudio de rendimientos en operaciones de volteo de Pinus radiata D. Don. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, 1966. 59 p.
14. KONDA, R. C. Saving in wood by felling with saw. Indian Forest 93(4):258-263. 1967.
15. LE RAY, J. Essais d'abattage mécanique a la scie a un homme. Bois et Forests des Tropiques n° 51:59-78. 1957.
16. LUSSIER, L. J. Planning and control of logging operations. Quebec, Université Laval, 1961. 135 p.
17. MACHADO, S. A. El uso de la correlación y de la regresión en los sistemas de investigación. Chinchina, Colombia, Centro Nacional de Investigaciones del Café. Boletín Informativo 3(31):25-44. 1952.
18. MANUAL DE MOTOSIERRAS Santiago, Chile, Instituto Forestal. Manual n° 4. 1966. 44 p.
19. MAZA, J. DE LA. Aplicación del muestreo estadístico al control de los aprovechamientos forestales. Montes 25(148): 343-352. 1969.
20. MERZ, R. W., HERRICK, D. E. y NEEBE, D. J. Estimating log-making costs in the Central States. U.S. Department of Agriculture. Forest Service. Research Paper n° 5-13. 1965. 19 p.
21. MILLER, R. L. y JOHNSEN, T. N., Jr. Effects of tree and sawyer factors on costs of felling large alligator junipers. U.S. Department of Agriculture Forest Service. Research Paper R. M. 56. 1970. 8 p.
22. MOURA, C. M. Rendimiento de trabalho e custos na exploração forestal. Instituto de Investigaciones Agronómicas de Angola. Serie Científica n° 19. 1971. 73 p.
23. REYNOLDS, D. D., SOEDEL, W. y ECKELMAN, C. Cutting and power requirements of chainsaws. Forest Products Journal 20(10):28-34. 1970.

24. SCHELL, R. L. Harvesting pine pulpwood in the Tennessee Valley. Tennessee Valley Authority. Division of Forestry Relations Forestry Investigations Branch Norris, Tennessee. Report n° 238-61. 1961. 20 p.
25. STEINLIN, H. Planificación de la tala, arrastre y transporte de la madera en los bosques tropicales. Revista Forestal Venezolana 6(8-9):13-31. 1963.
26. TAILFER, Y. Techniques d'abattage a la hache en forest équatoriale africaine. Bois et Forests des Tropiques n° 83:50-53. 1962.
27. THAPLIYAL, K. C. y SOOD, K. Economics of power saw compared with handsaw in felling of sal (Shorea robusta). Indian Forester 96(7):518-526. 1970.
28. ULLOA, A. y TORREALBA, D. Estudio comparativo de rendimientos en tiempo y en volumen para Pinus radiata con herramientas manuales y matrices. Santiago, Chile, Instituto Forestal. Boletín Informativo n° 11. 1965. pp. 23-26.
29. VAN LAAR, A. Economics aspects of mechanization of felling and cross-cutting. Forestry in South Africa 5:61-80. 1964.
30. WACKERMAN, A. E., HAGENSTEIN, W. D. y MICHELL, A. S. Harvesting timber crops. 2nd ed. New York, McGraw-Hill, 1966. 540 p.

APENDICES

APENDICE 1



Fig 4. Corte de dirección para el volteo del árbol



Fig 5. Descope



Fig 6. Corte de ramas delgadas



Fig 7. Troceado del fuste

FORMULARIO EMPLEADO PARA EL REGISTRO DE LOS DATOS EN EL BOSQUE

N° de Árbol	Diámetro		Nombre de la Especie	Tiempo de Preparación del volteo		Tiempo de volteo		Tiempo de Desrame		Tiempo para ubicar el árbol a vol tear	Condiciones de sitio (pendiente, regeneración, etc.)
	Pecho	Corte		T.E.*	T.G.**	T.F.*	T.G.**	T.E.	T.G.		

* Tiempo efectivo
 ** Tiempo general

FORMA 2

FORMULARIO EMPLEADO PARA EL REGISTRO DE LOS DATOS EN EL BOSQUE

N° de Trozas	Diámetro	Longitudes	Tiempo de T.E.*	Tiempo de Trozado T.G.**	Volumen (m³)	N° de Arbol	Observaciones

* Tiempo efectivo
 ** Tiempo general