

# DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INDICADORES PARA LA ACTIVIDAD DE COSECHA Y EXTRACCIÓN MECANIZADA DE MADERA

---

*Marcelo Castelli<sup>1</sup>, Juan Pablo Fossati<sup>2</sup>, María de las Nieves Camacho<sup>3</sup>, Claudia Chackelson<sup>4</sup>*

---

**Resumen:** Este artículo se enmarca dentro del proyecto realizado por el CITEM de la Universidad de Montevideo, para la empresa Forestal Oriental S.A., siendo los objetivos del mismo, la creación de indicadores de productividad para la actividad de cosecha y extracción mecanizada de madera, así como la identificación de los inductores de costos para utilizar como herramienta práctica en el control de costos, y la creación de una función de costos estándar que contemple las variables más importantes de la actividad

Con este fin, en primer lugar se presentarán los indicadores de productividad, así como la metodología que se ha seguido para su determinación. Posteriormente, se realiza un breve análisis de los indicadores desarrollados. Por último es presentada una validación del sistema de indicadores desarrollados a partir de mediciones en campo.

Palabras-clave: cosecha forestal, indicadores de costos, indicadores productividad.

## **Introducción:**

La adopción por parte de cualquier empresa de un sistema de indicadores de productividad, conlleva mucho trabajo por parte de la estructura gerencial de la compañía, aunque acompañado a su vez de una cantidad de ventajas significativas, entre ellas pueden mencionarse la cuantificación de forma clara de las actividades de la organización, la detección rápida de desvíos una vez establecidos los estándares relacionados al sistema de indicadores implementado y la facilidad de creación de un sistemas de incentivos, entre otras cosas. En definitiva, puede brindar una herramienta para facilitar la toma de decisiones a nivel de gestión de producción y activos, mejorando de esta forma la planificación a mediano y largo plazo.

## **Metodología de trabajo:**

Partiendo de la información brindada por la empresa de históricos de producción y consumos, en principio se planteó una metodología de procesamiento de la información que permitiera la creación de indicadores confiables que brindaran información relevante con respecto a la operación de cosecha y extracción. Para esto se trabajó conjuntamente con personal de FO vinculado directamente al proyecto, con el fin de conocer los indicadores de producción utilizados hasta la fecha y su finalidad.

---

<sup>1</sup> Dr © Ing. M. Castelli; Profesor Facultad Ingeniería; Universidad de Montevideo. [mcastelli@um.edu.uy](mailto:mcastelli@um.edu.uy)

<sup>2</sup> Ing. Ind. J. P. Fossatti; Profesor Facultad de Ingeniería; Universidad de Montevideo.-  
[jfosatti@um.edu.uy](mailto:jfosatti@um.edu.uy)

<sup>3</sup> Ing. Ind. M. Camacho; Ayudante investigación; Universidad de Montevideo.- [mcamacho@um.edu.uy](mailto:mcamacho@um.edu.uy).

<sup>4</sup> Ing. Ind. C. Chackelson; Ayudante de investigación; Universidad de Montevideo.-  
[cchackelson@um.edu.uy](mailto:cchackelson@um.edu.uy)

A partir de la información existente se realizó la siguiente discriminación:

- Obtención de las variables de producción de las planillas de producción y priorización de las mismas respecto a las actividades de cosecha y extracción mecanizada.
- Clasificación de las máquinas en función de las horas de utilización de las mismas.
- Creación de intervalos de vida útil.
- Cálculo de los indicadores en función de los indicadores generados.
- Creación de una tendencia de evolución del indicador en función de la vida útil de la máquina.
- Estudio de la interrelación de los parámetros entre sí.
- Estudio de la distribución de probabilidades asociada a cada indicador.
- Generación de intervalos de confianza para cada indicador utilizado.
- Validación del estudio a partir de mediciones en campo.

A continuación se realizará un breve resumen de los puntos presentados anteriormente, con la finalidad de validar la metodología planteada.

### **Construcción de indicadores de productividad:**

A partir de la información de históricos existente en la empresa, se han tomado las variables más significativas para la construcción de indicadores de productividad. Las variables seleccionadas para se enumeran a continuación:

- Metros cúbicos cosechados
- Metros cúbicos extraídos
- Árboles cosechados
- Cargas realizadas por el Forwarder
- Kilómetros recorridos por el Forwarder
- Horas Planificadas
- Horas Efectivas
- Horas Improductivas Propias
- Horas Improductivas Mantenimiento
- Horas Improductivas Otras
- Horas Improductivas Lluvia
- Horas Totales

Estas variables seleccionadas rigen tanto la actividad de cosecha (realizada por máquinas tipo Harvester) como la actividad de extracción (realizada por máquinas tipo Forwarder).

A partir de la identificación de las variables más significativas, se pasa a definir los indicadores de producción desarrollados para cada actividad. Es importante que los indicadores a determinar identifiquen lo que se desea medir, reflejen la realidad y sean fácilmente verificables. Adicionalmente, un indicador por sí solo no es suficiente, sino que se debe contemplar un conjunto de los mismos para apreciar el resultado global.

Considerando lo dicho anteriormente, se seleccionaron cuatro indicadores de productividad asociados a las máquinas Harvester y Forwarder:

*Para Forwarder*

- $$\frac{\text{Carga}}{\text{Hora Efectiva}}$$

Indica el número de cargas realizadas por hora efectiva, siendo este cociente, una medida del desempeño del operario.

Se debe tener en cuenta que la cantidad de cargas depende de la longitud de las trozas y de la distancia desde el punto de carga de las mismas a la orilla de camino (desembosque).

Para Harvester

$$\bullet \frac{m^3}{\text{Hora Efectiva}}$$

Muestra la cantidad de metros cúbicos cosechados en una hora efectiva.

Por sí solo no permite estimar la productividad de la máquina, ya que no es tomada en cuenta la disponibilidad mecánica del Harvester. Este indicador es simplemente un reflejo del desempeño del operario.

Para Harvester y Forwarder

$$\bullet \text{Disponibilidad Mecánica: } \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas Imp Mantenimiento}}{\text{Horas Totales}}$$

Porcentaje del tiempo total que la máquina está apta para su uso.

$$\bullet \text{Utilización: } \frac{\text{Horas Efectivas}}{\text{Horas Totales} - \text{Horas Imp Mantenimiento}}$$

Porcentaje del tiempo en que la máquina es utilizada durante el período que la misma se encuentra disponible.

Para una visualización rápida de posibles desvíos en cualquiera de estos indicadores, se generaron dos índices que los engloban mediante el producto de los mismos. De esta manera, es posible determinar la productividad de las máquinas en un período de tiempo elegido (mensual, anual, etc.).

Para Harvester

$$\frac{m^3}{\text{Hora Total}} = \frac{m^3}{\text{Hora Efectiva}} * \text{Disponibilidad Mecánica} * \text{Utilización}$$

Para Forwarder

$$\frac{\text{Carga}}{\text{Hora Total}} = \frac{\text{Carga}}{\text{Hora Efectiva}} * \text{Disponibilidad Mecánica} * \text{Utilización}$$

Cabe destacar que, en caso de detectarse una anomalía en estos valores, la causa de la misma corresponde a una desviación en los metros cúbicos por hora efectiva o cargas por hora efectiva, la disponibilidad mecánica o la utilización. Es por este motivo que en caso de presentarse una situación atípica, para identificar su origen, es necesario detenerse en el análisis de los cuatro indicadores mencionados anteriormente. De lo contrario, basta con monitorear los metros por hora total o las cargas por hora total para constatar que las actividades están llevándose a cabo de la forma esperada.

Un claro ejemplo de lo expuesto anteriormente, se observa en el gráfico del indicador metros por hora efectiva presentado a continuación:

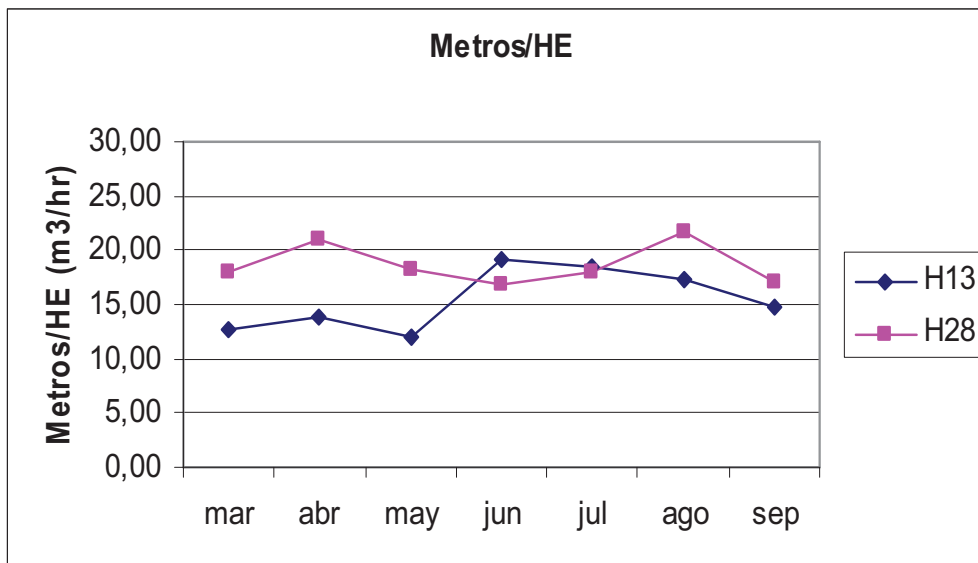


Figura 1. Comparación del indicador m³/Hora Efectiva para dos Harvesters en distintos momentos de su vida útil

A partir del gráfico anterior, es posible inferir que en ciertos meses del año, la productividad del H13 (máquina antigua) ha sido mayor que la del H28 (máquina nueva), lo cual podría llevar a una conclusión errónea respecto a la capacidad de producción de dicho equipo, ya que si se observa la figura 2, claramente se concluye que el Harvester nuevo (H28) ha producido siempre una mayor cantidad de metros cúbicos por hora total trabajada. La dependencia con respecto a la vida útil de la máquina se refleja en la disponibilidad mecánica de la misma, ya que es de esperar que una máquina nueva pase menos tiempo en reparación que otra con más meses de uso. Adicionalmente, este factor afectaría la cantidad de metros cúbicos cosechados por hora total. Por lo tanto, teniendo en cuenta que la disponibilidad mecánica afecta al indicador de metros cúbicos por hora total, mientras que no lo hace sobre el indicador de metros cúbicos por hora efectiva, independizando de esta forma la disponibilidad de la máquina a la hora de producir.

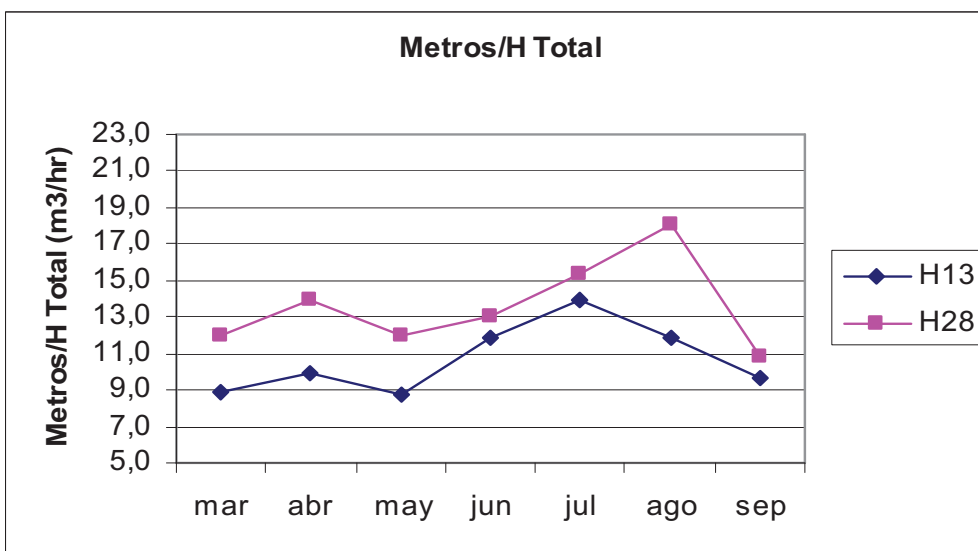


Figura 2. Comparación del indicador m³/Hora Total para dos Harvesters en distintos momentos de su vida útil

Se clasificaron las máquinas en función del momento de la vida útil en que se encontraban según cinco categorías:

- Categoría 1: menos de 5.000 horas
- Categoría 2: entre 5.000 y 10.000 horas
- Categoría 3: entre 10.000 y 15.000 horas

- Categoría 4: entre 15.000 y 20.000 horas
- Categoría 5: más de 20.000 horas

Esta diferenciación cada 5.000 horas se tomó en cuenta debido a que los grandes servicios de mantenimiento en las mismas se realizan cada 4.000 y 7.000 horas. De esta forma se logra homogeneizar los altos valores de repuestos en los que se incurre.

Luego de finalizada esta tarea, se procedió a clasificar la información según el largo de troza en:

- 4.8 m
- 7.2 m

Posteriormente, la clasificación según volumen por árbol partió del cociente entre los metros cúbicos y los árboles cosechados correspondientes a cada entrada de la planilla de producción.

Se realizó una división en tres grupos, de tal manera que se garantizó que cada uno de ellos contenga una cantidad equivalente de registros, para asegurar que el intervalo sea representativo (a la hora de estudiar el efecto del tamaño del árbol en el valor de los indicadores, se comenzó dividiendo los registros diarios de producción en dos grupos de volumen por árbol. Finalmente, para un mayor grado de detalle en los resultados obtenidos, se decidió ampliar dicha clasificación a tres grupos. Cabe destacar además que se excluyeron del análisis aquellos valores de volumen por árbol superiores a 1 m<sup>3</sup>/árbol).

Debido a que la cantidad de registros para 4.8 m es distinta que para 7.2 m, los límites de los intervalos no coinciden entre sí. A continuación se muestran los grupos de volumen por árbol para cada largo de troza:

- Para 4.8 m
  - Grupo 1: menos de 0.24 m<sup>3</sup>/árbol
  - Grupo 2: entre 0.24 y 0.36 m<sup>3</sup>/árbol
  - Grupo 3: más de 0.36 m<sup>3</sup>/árbol
- Para 7.2 m
  - Grupo 1: menos de 0.32 m<sup>3</sup>/árbol
  - Grupo 2: entre 0.32 y 0.44 m<sup>3</sup>/árbol
  - Grupo 3: más de 0.44 m<sup>3</sup>/árbol

De esta manera, es posible calcular indicadores de productividad diarios por máquina, que dependen de las clasificaciones consideradas.

Para contemplar la influencia del tamaño de los árboles cosechados en el análisis de indicadores de productividad, se consideró el uso de un factor multiplicador. Una vez calculado un indicador discriminado por vida útil de la máquina y tamaño de troza, este factor es capaz de afectar al mismo de tal manera que se logre un mayor acercamiento al comportamiento real de la actividad de cosecha. El procedimiento para realizar esta tarea se aplica a todos los indicadores de productividad (exceptuando la disponibilidad mecánica y la utilización) y se detalla a continuación:

En primer lugar se promedió cada indicador distinguiéndolo únicamente por largo de troza, obteniéndose un valor para 4.8 m y otro para 7.2 m.

Posteriormente se calcularon los índices de productividad clasificados también por volumen por árbol. A partir de esto, se obtuvieron tres valores para cada largo de troza.

Para 4.8 m se calcularon los tres factores de incidencia realizando simplemente el cociente entre los indicadores clasificados por volumen por árbol y el valor promedio del indicador para ese largo de troza, como se muestra a continuación:

$$f = \frac{\text{indicador} / \frac{\text{Largo de troza}}{\text{Grupo de volumen}}}{\text{indicador} / \text{Largo de troza}}$$

Por otro lado, se prosiguió calculando el valor del indicador a partir de los datos de producción, distinguiendo únicamente por horómetro y largo de troza. De esta manera, para 4.8 m, se obtuvo una tabla con cinco valores (uno por cada categoría de horómetro).

Finalmente, se multiplicó cada una de las entradas de dicha tabla por los factores de incidencia anteriormente calculados, generándose el indicador de productividad final influido por las tres variables mencionadas (horómetro, largo de troza y volumen por árbol). Para 7.2 m se realizó un procedimiento análogo.

A partir de la metodología detallada anteriormente, se obtuvieron los treinta valores más probables para cada indicador, uno por cada clasificación. Pero la realidad no siempre se ajustará con exactitud a dichos valores, ya que existen factores externos que pueden generar pequeñas fluctuaciones. Por este motivo se consideró la necesidad de incluir el concepto de probabilidad en este estudio, contemplando así el riesgo de no ocurrencia de los valores obtenidos para cada indicador.

**Ejemplo de resultados obtenidos:**

A modo de ejemplo, se presentan los valores de algunos de indicadores generados. Cabe destacar que para la determinación de los valores de los indicadores no ha sido utilizado el promedio, sino que se ha utilizado el valor más probable del indicador, luego de realizada la distribución de probabilidades de cada indicador utilizado.

Indicador:  $\frac{m^3}{\text{HoraTotal}}$ , largo de troza 4,8 m

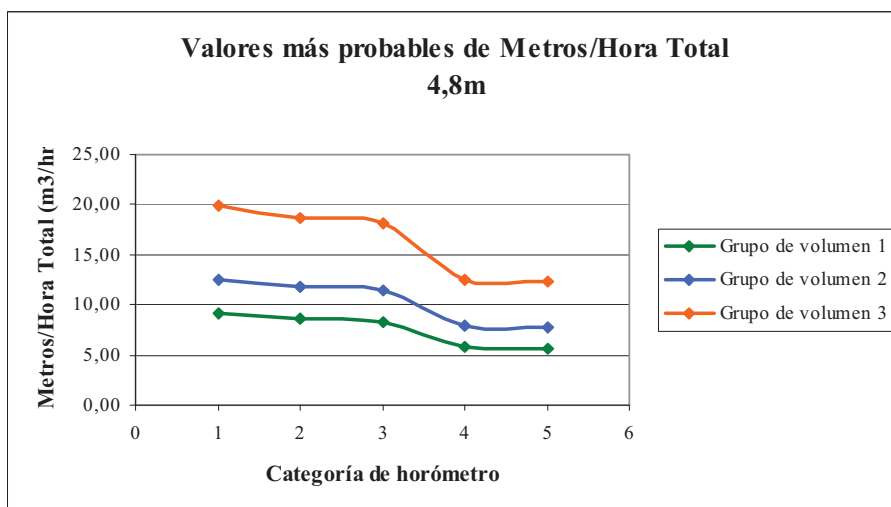
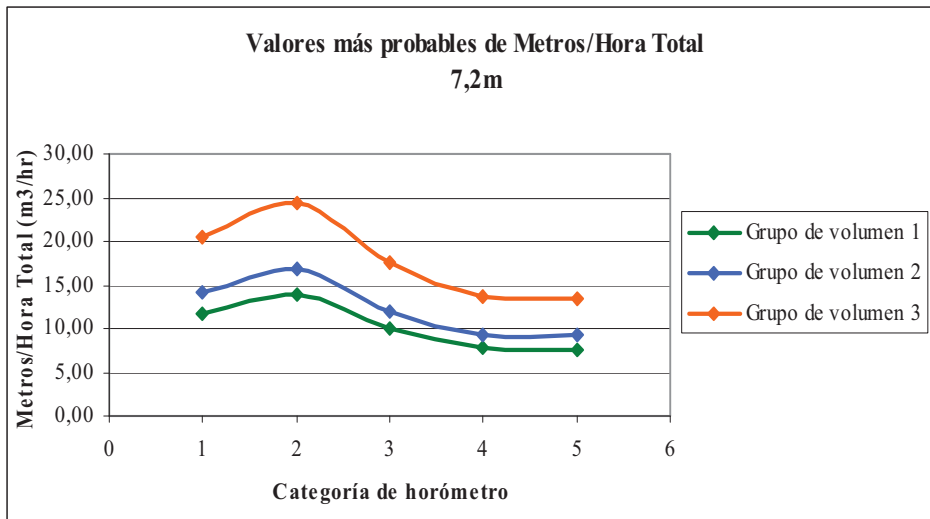
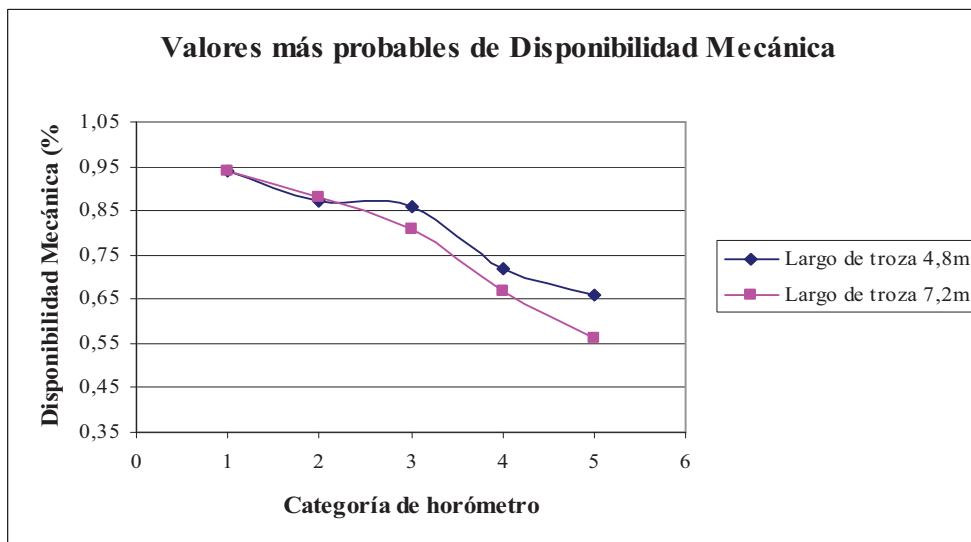


Figura 3: m³/Ht para Harvester 4,8m

Indicador:  $\frac{m^3}{\text{HoraTotal}}$ , largo de troza 7,2m



**Figura 4:** m<sup>3</sup>/HT para Harvester 7,2m  
Indicador: Disponibilidad Mecánica (Harvester)



**Figura 5:** DM vs categoría de horómetro

En el caso de la disponibilidad mecánica, existe una independencia del volumen por árbol a cortar con la disponibilidad mecánica, con lo cual no es realizada una discriminación en el caso de este indicador, en función del volumen por árbol a cortar.

#### **Validación de los indicadores obtenidos a partir de mediciones:**

Luego de desarrollado el sistema de indicadores con sus intervalos y distribución de probabilidades a partir de datos históricos, se procedió a realizar un mes de toma de datos en campo, con el fin de validar el estudio realizado.

A continuación se presenta la comparación de valores teóricos con los obtenidos en las mediciones en campo.

#### Harvester:

Disponibilidad Mecánica teórica: 0.81

Disponibilidad Mecánica Promedio Campo: 0.81

Utilización teórica: 0.81

Utilización Promedio Campo: 0.86

Metros cúbicos por hora efectiva teórica (promedio): 18.2

Metros cúbicos por hora efectiva (promedio): 18.6

Nota: se utilizaron para el promedio de históricos árboles de hasta 0,44m<sup>3</sup>/árbol

Forwarder:

Disponibilidad Mecánica teórica: 0.89 (Categoría 1 y 2)

Disponibilidad Mecánica Promedio Campo: 0.91

Utilización teórica: 0.62 (0.74 para febrero)

Utilización Promedio Campo: 0.76

Metros cúbicos por hora efectiva datos de Campo (promedio): 21.6

Metros cúbicos por hora efectiva teórica (promedio): 19.3

Nota: se utilizaron para el cálculo de los m<sup>3</sup>/HE un factor de pila de 0.55 únicamente con las pilas completas de febrero en campo. Se contrastó con las planillas existentes para 350 mts de distancia de forwarder y 350 m<sup>3</sup>/Há

**Conclusiones:**

Es posible un seguimiento de las actividades de cosecha y extracción a partir de la visualización de los indicadores por hora total para Harvester y Forwarder. Un desvío en las actividades de cosecha y/o extracción se visualiza a partir de los indicadores por hora total y sus causas se reflejan en los indicadores DM, Ut y por hora efectiva. Se contrastaron los valores teóricos obtenidos a partir de los históricos, con los datos recabados en campo durante las mediciones en el mes de febrero, obteniéndose resultados concordantes en el estudio.