

## OPTIMIZACIÓN DEL TRANSPORTE COMO CLAVE EN LA MEJORA DE LA EFICIENCIA EN EL CICLO DE COSECHA DEL MAÍZ FORRAJERO

Carlos Amiama

Carlos José Álvarez

José Manuel Pereira

*Universidad de Santiago de Compostela*

### Abstract

The operation of silage corn harvest is probably one of the operations which requires more planning efforts to technicals at the agricultural cooperatives of the Spanish Northwest. The origin of this need are many factors, among others, the limited harvest time, because we have a crop rotation, adverse weather conditions in many cases that difficult the trafficability. In order to optimize the cycle we must optimized the route followed by the combine for the harvest of plots in order to lose the least time as possible in movements between fields. The objective is that the cycle of harvest has a minimal cost. This cycle will be conditioned primarily by the activity of the combine and the trucks linked to it. In this paper we will analyze which should be the number of trucks linked to the combine, depending on the ability to combine work and distance to the silo of the farmer, so that the total cost of the harvesting operation is least. The results are compared with what happened in the silage corn harvest season.

**Keywords:** *Harvest cycle, Forage harvester, Works scheduling*

### Resumen

La operación de cosechado de maíz forrajero es, probablemente, una de las operaciones que exige un mayor esfuerzo de planificación a los técnicos de las cooperativas agrarias del noroeste peninsular español. Los motivos que originan esta necesidad son varios, pero se destacarán, entre otros, el reducido tiempo para la cosecha, al tratarse mayoritariamente de un cultivo en rotación y la climatología adversa que condiciona en muchos casos la traficabilidad del terreno. Consecuentemente ha de optimizarse la ruta seguida por la cosechadora para el cultivo de las parcelas, con objeto de perder el menor tiempo posible en desplazamientos entre fincas. Además deberán de habilitarse los medios para que el ciclo de cosechado tenga un coste mínimo. Este ciclo vendrá condicionado, fundamentalmente, por la actividad de la cosechadora y la de los camiones que la acompañan. En este trabajo se analizarán cual deberá ser el número de camiones que acompañan a la cosechadora, en función de la capacidad de trabajo de la cosechadora y de la distancia al silo del socio, de forma que el coste total de la operación de cosechado sea mínimo. Los resultados obtenidos se compararán con lo sucedido en una campaña.

**Palabras clave:** *Ciclo de cosechado, cosechadoras de forraje, Planificación de labores*

## 1. Introducción

La operación de cosechado de maíz forrajero ha de considerarse como un sistema en el que interactúan distintos procesos (cosecha, transporte y extendido en silo). Dentro de cada proceso se desarrollarán una serie de actividades (cosecha propiamente dicha, alineación con transportes, transporte propiamente dicho, esperas por transporte, descarga en silo, extendido del forraje, ...) Los cuellos de botella dentro de las actividades de los procesos de transporte o de descarga pueden reducir la capacidad de la operación de cosechado (Buckmaster, 2006). La interacción entre distintos elementos exigirá una coordinación entre ellos, siendo necesaria adecuar su número acorde a sus respectivas capacidades efectivas de trabajo.

Un método para evaluar sistemas donde interactúan diversas máquinas o componentes es el análisis de ciclos. El análisis de ciclos permite determinar el tiempo que emplea cada máquina en el sistema y puede ser útil para dimensionar adecuadamente el proceso de transporte en las operaciones de ensilado. Los principios para la utilización de diagramas cíclicos fueron esbozados por Hunt (1995).

En este trabajo se ha analizado la actividad de una cosechadora en el ciclo de cosecha de maíz forrajero. Se ha determinado el número óptimo de camiones, que minimizan el coste del ciclo. Se ha comparado la situación actual con la obtenida con un correcto dimensionamiento de la flota de camiones.

## 2. Metodología

Se ha estudiado la actividad de una cosechadora autopropulsada de forraje durante 30 jornadas de trabajo. Se han analizado 144 parcelas, ubicadas en los ayuntamientos de Ribadeo, Barreiros, Trabada, Xermade y Meira (Lugo-España) y en todos los casos el cultivo cosechado ha sido maíz. Los datos han sido capturados en el año 2008 por un sistema de telemetría (Amiama et al., 2008).

Se ha diferenciando la actividad de la cosechadora por la mañana y por la tarde. Esta diferenciación se apoya en el hecho de que cuando se analiza el número de camiones que acompañarán a la cosechadora, el período mínimo de actividad es de media jornada (4 horas). Es decir, desde el momento que se asigna un transporte a una cosechadora este facturará, al menos, 4 horas, independientemente del nivel de actividad que desarrolle. Se ha considerado el tiempo total de actividad de la cosechadora (una vez descontados los tiempos empleados en repostaje y mantenimiento y los tiempos de averías) y se han diferenciado los tiempos de espera por transporte y los tiempos utilizados en desplazarse entre fincas.

A raíz de los resultados obtenidos se ha realizado una simulación analizando los resultados obtenidos si se incrementara un nuevo transporte en todas las jornadas analizadas. Se ha repetido el proceso con un correcto dimensionamiento de la flota de vehículos a utilizar, considerado que se incrementará un vehículo en aquellas  $\frac{1}{2}$  jornadas en las que la utilización de la cosechadora esté por debajo de un % determinado porcentaje.

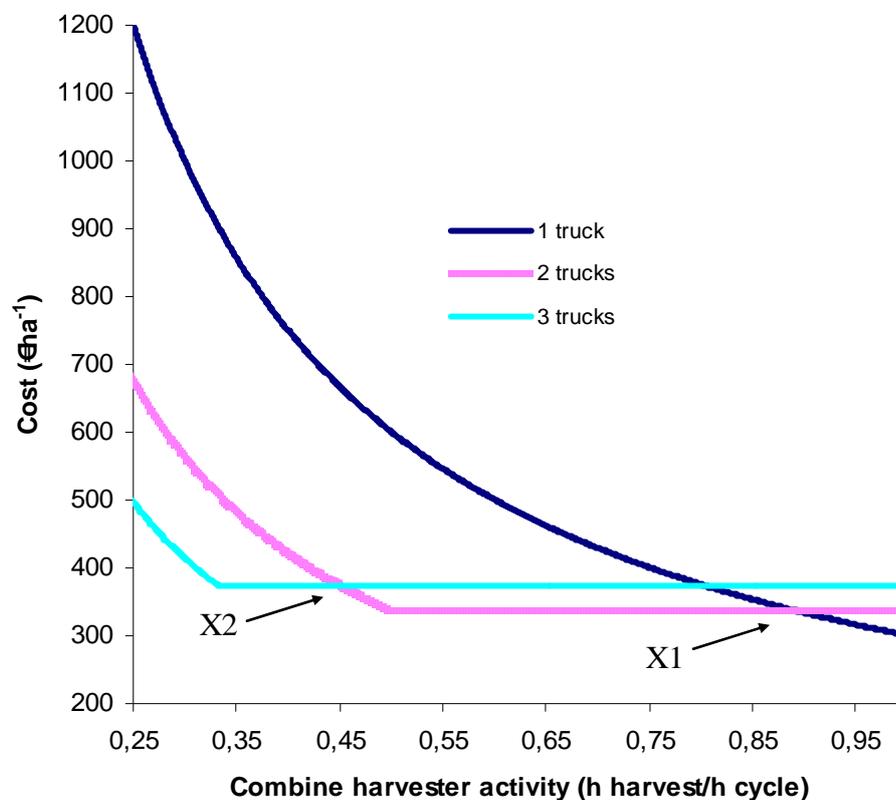
### 3. Resultados

#### 3.1 Optimización del tiempo de actividad de la cosechadora

La cosechadora, dentro del ciclo de cosecha, será el elemento que más condicionará la rentabilidad del proceso, debido a su elevado coste horario. Consecuentemente, deberán de buscarse escenarios con elevados % de utilización de la cosechadora, si bien no siempre será interesante que esté al 100 % de su capacidad, ya que podría suponer que los costes de transporte se disparen (por la baja utilización de los camiones). El número óptimo de camiones vendrá dado por el coste mínimo de los procesos de transporte y cosecha.

El objetivo que se persigue es obtener los puntos  $X_1, X_2, \dots$  (véase figura 1) de ocupación que hace rentable pasar de 1 a 2 camiones, de 2 a 3...

**Figura 1: Evolución de los costes de cosecha ( $\text{€ha}^{-1}$ ) en función del número de camiones ( $K=7.36, C=36 \text{ €}, C_e= 1\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$ )**



La intersección de las 2 curvas está en:

$$X_n = (1 + K/n) / (n + 1 + K) \quad [1]$$

Siendo:

$X_n$ : tanto por 1 de tiempo que está ocupada la SPFH con los camiones.

$C$ : Coste horario del camión

$K$ : ratio entre el coste horario de la cosechadora y el coste horario del camión.

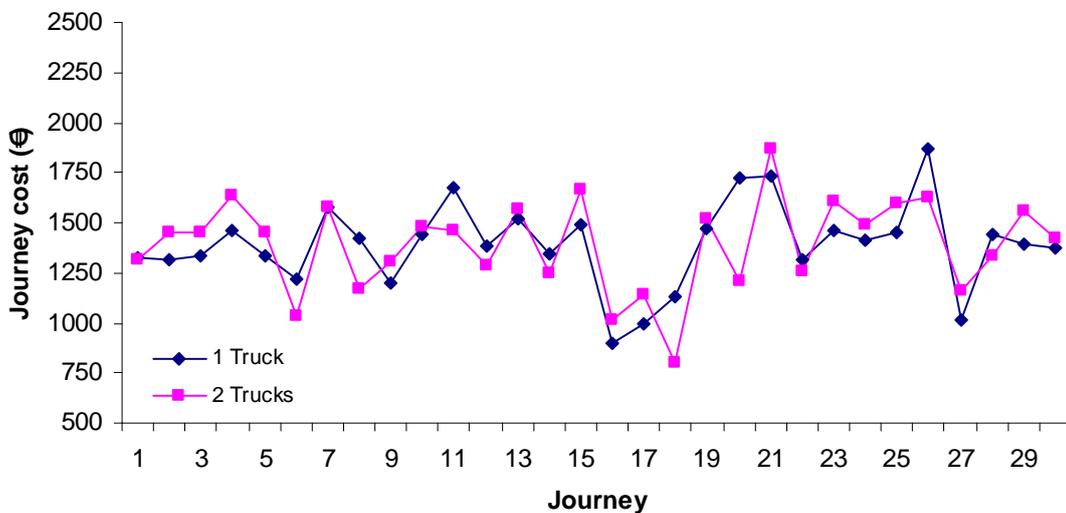
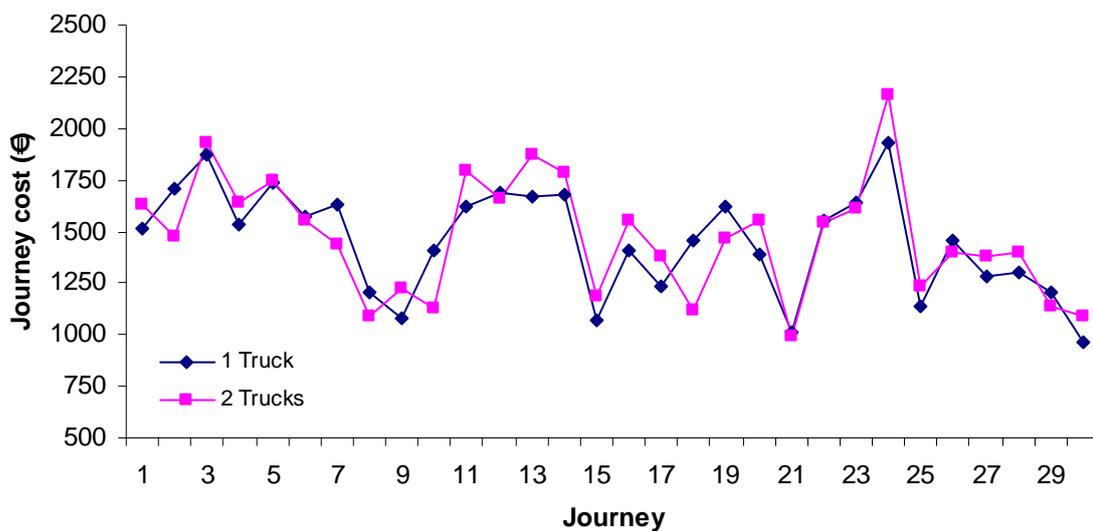
n: número de camiones implicados.

Ce: Capacidad específica de trabajo de la cosechadora.

### 3.2 Análisis de la actividad de la cosechadora

Se han analizado en primer lugar los costes de cosecha y transporte, en el supuesto de que se aumentase un transporte más en todas las jornadas de trabajo, respecto a la situación registrada en las 144 parcelas analizadas. Para la realización de los cálculos, y para ajustarnos a la situación real, se ha considerado que cada media jornada el transporte facturará, al menos 4 horas (8 horas por jornada), independientemente de la actividad de la SPFH. Es decir, en el caso de que un una media jornada la SPFH trabaje 3 horas, el coste se obtendrá multiplicando 3 por el coste horario de la cosechadora (265 €h<sup>-1</sup>) y 4 por el coste horario del transporte (36 €h<sup>-1</sup>). En la figura 2 se muestran los resultados obtenidos, discriminados en jornada de mañana y de tarde.

**Figura 2: Variación de los costes de ½ jornada en la cosechadora en función del número de transportes empleados y discriminados en mañana (arriba) y tarde (abajo)**



En la tabla 1 se reflejan los valores de costes totales y tiempos invertidos utilizando uno o dos camiones.

**Tabla 1: Resumen de costes y tiempos de cosechado**

	Coste mañana	Tiempo mañana	Coste tarde	Tiempo tarde
1 camión	41.720,05 €	138,25 h	43.583,25 €	144,45 h
2 camiones	41.691,48 €	121,88 h	44.171,52 €	129,52 h

Analizando conjuntamente la información del epígrafe 3.1 y la reflejada en la tabla 1, es previsible que la introducción de un nuevo transporte de forma continua por la mañana, suponga un ahorro en el coste de recolección. Esta hipótesis se confirma, a la vista de los datos reflejados en la tabla 2, si bien el ahorro es ligeramente inferior al esperado. Este hecho se justifica dado que existe alguna media jornada en que no se han trabajado 4 horas, con lo que se penaliza el resultado, ya que es necesario abonar 4 horas de transporte. Es notable no obstante el ahorro en tiempo, de más e 16 horas. Por la tarde la introducción de un nuevo transporte supondrá un aumento de coste de 588,27 € Pero se obtendrá un ahorro de 14,93 h, que en las jornadas consideradas, supondrá más de un 10 % de tiempo trabajado. Este aspecto cobra una importancia fundamental, considerando el reducido intervalo de tiempo disponible para la realización de la cosecha.

Si se repite el proceso introduciendo un transporte cuando los tiempos de espera superan el 10,7 % obtenemos los resultados que se reflejan en la tabla 2.

**Tabla 2: Resumen de costes y tiempos de cosechado**

	Coste mañana	Tiempo mañana	Coste tarde	Tiempo tarde
1 camión	41.720,05 €	138,25 h	43.583,25 €	144,45 h
Nº variable	39.604,98 €	125,18 h	42.025,68 €	132,08 h

Utilizando este planteamiento obtendríamos un ahorro global de 3.672,63 € y 25,43 h, en las jornadas analizadas, que suponen un 4,3 % y un 9,0 % de ahorro respectivamente.

Los valores obtenidos dan idea de la importancia de una correcta planificación de la actividad de los distintos elementos que intervienen en el ciclo de cosecha de maíz forrajero.

#### 4. Conclusiones

En nuestras condiciones el análisis del ciclo de trabajo de la cosecha de maíz forrajero deberá centrarse en optimizar la actividad de la cosechadora y de los transportes que la acompañan. Esta optimización consistirá en conjugar el número de camiones que proporcionen un menor coste global de la operación. La solución final obtenida estará

condicionada por la capacidad efectiva de trabajo de la cosechadora, del ratio entre el coste horario de la cosechadora y el del camión y por el tiempo invertido en el transporte en realizar el ciclo.

La cosechadora analizada ha invertido excesivo tiempo en espera por los transportes, según se desprende de los resultados obtenidos. Estas esperas se traducen, no solo en un incremento de los costes monetarios, sino también en la falta de disponibilidad de la cosechadora para cosechar más parcelas. Este es un aspecto a considerar en escenarios como el que nos ocupan, con baja disponibilidad de tiempo para la realización de las labores.

### Referencias

Amiama, C., Bueno, J., Álvarez, C.J., Pereira J.M., 2008b. Design and field test of an automatic data acquisition system in a self-propelled forage harvester. *Comput. Electron. Agr.* 61(2):192-200.

Buckmaster, D. R., 2006. A systems approach to forage harvest operations. In *Proc. of the ASABE Annual International Meeting, Portland, Oregon, 9–12 July*. ASAE Paper No.061087, 2950 Niles Rd., St Joseph, MI 49085-9659, USA.

Hunt, D., 1995. *Farm Power and Machinery Management*, 9th Ed. Ames, Iowa: Iowa State University Press.

### Correspondencia (Para más información contacte con):

Carlos Amiama Ares.  
Departamento de Ingeniería Agroforestal – Escuela Politécnica Superior – Universidad de Santiago de Compostela  
Campus universitario s/n 27002 Lugo  
Phone: +34 982 252 231 Ext. 23627  
E-mail : carlos.amiama@usc.es