

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE VARIOS ÍNDICES DE FORMA EN LA MODELIZACIÓN DE LA CAPACIDAD EFECTIVA DE TRABAJO

Carlos Amiama

Javier Bueno

Manuel Francisco Marey

Universidad de Santiago de Compostela

Abstract

This work presents an analysis of disc harrowing and forage harvesting aimed at obtaining models that yield values as approximate as possible to real values. Parameters such as field area, field shape or slope presumably affect the performance of the operations. In order to build a model, the different field shapes must be assigned numerical values that define the degree of difficulty of the operations or the degree of cultivation of a field. Assigning numerical values to field shapes is the main difficulty in building the model. In this paper, we have tested various shape indices and have determined the performance of the shape indices tested using linear regression models.

The analyzed models produced substantially better results for forage harvesting than for disc harrowing. The models presented here are retained valid to achieve the level of accuracy required for forage harvest planning. In contrast, for disc harrowing, our models have verified that the number of turns largely explains the performance of the operation, but the efforts to associate the number of turns with the shape indices developed have not produced the expected results.

Keywords: *Effective field capacity, Works planning, Shape index*

Resumen

En este trabajo se han analizado las labores de gradeo y cosecha, con el objetivo de obtener modelos que permitan obtener valores de capacidad efectiva de trabajo lo más aproximados posibles a los reales. La superficie, pendiente y forma de la parcela son variables que, previsiblemente, condicionarán el rendimiento de las labores. La dificultad estriba en conseguir asignar a distintas formas valores numéricos que definan el grado de dificultad de laboreo o cultivo de la misma. Hemos analizado varios índices de forma, obtenidos a partir de distintos métodos, determinando su comportamiento en modelos de regresión lineal.

Los resultados obtenidos han sido manifiestamente mejores en la operación de cosecha que en la de gradeo. En el primer caso los modelos obtenidos se consideran válidos para el nivel de precisión que precisamos, a efectos de planificación. En el caso de la labor de gradeo se ha comprobado como el número de giros a realizar es un dato que explica gran parte del rendimiento de la labor, si bien los esfuerzos para intentar asociar este valor con los distintos índices de forma desarrollados no han proporcionado los resultados esperados.

Palabras clave: *Capacidad efectiva de trabajo, Planificación de labores, Índice de forma.*

1. Introducción

Una exitosa planificación precisa como dato fundamental una correcta determinación de capacidad efectiva de trabajo de la maquinaria, ya que condicionará su disponibilidad para la realización de labores consecutivas. No obstante a los efectos organizativos no se requiere una gran precisión en la determinación de la capacidad efectiva de trabajo, ya que es un proceso afectado por factores ligados a una gran incertidumbre (climatología, averías ..). Por ello se busca obtener datos aproximados, que permitan realizar de forma rápida una planificación previa que se irá actualizando a medida que el proceso avance. En la actualidad el técnico suelo utilizar valores medios de rendimientos de las labores, al margen de las características orográficas o morfológicas de la parcela a cultivar. Este enfoque, válido cuando se trata de cultivar grandes extensiones, se desvirtúa cuando las parcelas son de tamaño reducido y con formas irregulares, situación muy frecuente en numerosas áreas de nuestra geografía.

En trabajos previos (Amiama et al., 2008b) se han encontrado correlaciones positivas entre capacidades específicas de las cosechadoras de forraje y el área de la parcela a cosechar, pendiente longitudinal y rendimiento del cultivo, entre otras. No obstante se vio la necesidad de seguir indagando en la determinación de una variable que consiguiese reflejar mejor la incidencia que la forma de la parcela pudiera tener en la capacidad efectiva de trabajo.

El objetivo de este trabajo se centra en intentar obtener, utilizando el menor número de variables posibles, y evitando realizar mediciones "in situ" cada vez que se cosecha o laboreo una parcela, una estimación de la capacidad efectiva de trabajo que sirva de referencia para la planificación de la actividad de una determinada máquina. Este trabajo ahonda en los resultados obtenidos con anterioridad, con objeto de conseguir una mejor aproximación a la capacidad efectiva de trabajo de una máquina en función de varias características orográficas y morfológicas de las parcelas, proponiendo nuevos índices de forma que intenten reflejar la similitud de la forma de la parcela con un rectángulo y que permitan predecir el número de giros asociado a una determinada parcela, factores ambos directamente relacionados con la capacidad efectiva de trabajo. El análisis se ha llevado a cabo para la operación de gradeo y para la operación de recolección de maíz forrajero.

2. Metodología

Los datos para este estudio se han obtenido entre los meses de mayo y noviembre de 2008, analizando la operación de gradeo de parcelas con rastrojo de pradera y de maíz. Se han analizado además los datos capturados en los meses de septiembre y octubre de 2006, durante la campaña de cosecha de maíz forrajero (Amiama et al., 2008b).

En relación a la operación de gradeo se capturaron datos de un total de 53 parcelas ubicadas en varios ayuntamientos del norte de Lugo (Galicia-España). Se ha empleado una grada de discos suspendida Pöttinger Terradisc 4000, arrastrada por un tractor Fendt 927 Vario.

La captura de la información necesaria se realizó con un sistema muy similar al implementado en las cosechadoras autopropulsadas de forraje (Amiama et al., 2008a), pero adaptado a las características específicas del equipo utilizado.

Las variables consideradas y las metodologías utilizadas para su determinación, han sido las mismas que las descritas en el trabajo realizado con cosechadoras autopropulsadas de forraje (Amiama et al., 2008b), superficie de la parcela (FA), pendiente longitudinal (LS), pendiente transversal (CS), forma de la parcela (FS), número total de vértices (TV) y número de vértices agudos (AV). Por razones obvias se ha excluido del análisis el rendimiento del

cultivo. Además el valor de la variable AV se ha determinado computando los vértices agudos y sus complementarios (más de 270°) por considerar que ambos condicionarían el rendimiento de las labores a realizar.

Existen numerosos trabajos que corroboran la relación entre el rendimiento de las labores y las pérdidas de tiempo en los giros (Taylor et al., 2002; Witney, 1995). Por ello se determinó el número de giros realizados por el tractor en cada una de las parcelas analizadas (TN). Esta determinación se realizó visualizando las trayectorias realizadas en cada una de las parcelas y contando el número de giros realizados. El índice de forma obtenido se denominó SI4 y se obtuvo dividiendo el número de giros entre el área de la parcela.

Dado que el número de giros es un dato difícil de obtener, ya que exige tener datos de la trayectoria de la parcela, se ha buscado un índice de forma que fuese fácilmente determinable y que estuviese directamente relacionado con el número de giros a realizar para el laboreo de la parcela. Se buscan índices que eviten tener que realizar mediciones específicas en campo, con objeto de predecir, con un grado de precisión razonable la capacidad efectiva de trabajo, para poder planificar la actividad de la maquinaria.

A partir del valor de la anchura (W) se han generado otros índices, que han integrado distintas informaciones relacionadas con la forma de la parcela. En la tabla nº 1 se reflejan cada uno de los índices utilizados y su procedimiento de determinación.

Tabla 1. Determinación de los índices de forma

Denominación	Determinación
SI1	FA/QA
SI2	SI1[1 - ABS (1 - FP/QP)]
SI3	FA/FP ²
SI4	TN/FA
SI5	W/FA
SI6	W/L
SI7	W/FP
SI8	SI5(FP/QP)

Siendo:

FA.- Área de la parcela analizada (ha)

QA.- Área del cuadrilátero con mayor ratio entre el área de la parcela inscrita y el área del cuadrilátero (ha).

FP.- Perímetro de la parcela analizada (m)

QP.- Perímetro del cuadrilátero circunscrito (m)

TN.- Número de giros

W.- Anchura del cuadrilátero circunscrito (m)

L.- Longitud del cuadrilátero circunscrito (m)

Para el análisis estadístico se ha utilizado un modelo de regresión lineal múltiple, siendo la variable dependiente la capacidad efectiva de trabajo (FC) y el resto de variables implicadas las variables independientes.

3. Resultados

3.1 Análisis de la labor de gradeo

En la tabla 2 se reflejan los ajustes obtenidos con cada uno de los índices de forma considerado, las variables que han resultado significativas y la correlación parcial de la variable "índice de forma".

Tabla 2. Coeficientes de regresión con diferentes índices de forma

Índice de forma	r^2	Variables significativas	Correlación parcial S _{ix}
SI1	0,35	FA (1%)	-0,09
SI2	0,35	FA (1%)	-0,10
SI3	0,38	FA (1%); CS (5%)	-0,08
SI4	0,61	SI4 (1%); CS (5%)	-0,74
SI5	0,36	FA (1%)	-0,49
SI6	0,36	FA (1%)	-0,15
SI7	0,37	FA (1%)	-0,18
SI8	0,37	FA (1%)	-0,51

FA: área de la parcela, CS: pendiente transversal, S_{ix}: índice de forma

En la tabla 2 se observa como utilizando en el modelo los índices desarrollados se obtienen ajustes malos, y similares entre si, a excepción cuando utilizamos SI4. Además el índice de forma nunca es una variable significativa en el modelo, salvo la excepción comentada, siendo la variable "área de la parcela" la que aporta más información al modelo, con correlaciones altamente significativas con la variable dependiente. Sin embargo debe destacarse el hecho de que los índices de forma SI5 y SI8, tienen correlaciones de orden 0 similares a la variable "área de la parcela" (0,54), si bien la existencia de multicolinealidad con dicha variable implica que esta información se repite. En el resto de índices ensayados la correlación de orden 0 es muy reducida, indicando ausencia de relación entre la variable

dependiente y la explicativa. Destacar además que únicamente con la utilización de los índices de forma 3 y 4 la pendiente transversal es significativa.

En general ninguno de los modelos considerados sin introducir el número de giros proporciona valores que mejoren la situación actual, que consiste en estimar un rendimiento por ha al margen de consideraciones orográficas o morfológicas de la parcela.

3.2 Análisis de la labor de cosechado

Partiendo de los datos capturados por dos cosechadoras autopropulsada de forraje durante los meses de septiembre y octubre de 2006, durante la campaña de recolección del maíz (Amiama et al., 2008b), se han introducido en el modelo los índices de forma desarrollados, para comparar los resultados con los obtenidos inicialmente (considerando SI1, SI2 y SI3). En este caso no se ha analizado el índice de forma SI4, por no disponer del número de giros que la cosechadora realizó en cada una de las parcelas consideradas. Los resultados obtenidos se reflejan en la tabla 3.

Tabla 3. Coeficientes de regresión con diferentes índices de forma

Índice de forma	r ²	Variables significativas	Correlación parcial SIx
SI1	0.64	CY (1%); LS(1%) FA (1%); SI1 (5%)	0.00
SI2	0.64	CY (1%); LS(1%) FA (1%); SI2 (1%)	0.01
SI3	0.62	CY (1%); LS(1%) FA (1%)	-0.07
SI5	0.67	CY (1%); LS(1%) FA (1%); SI5 (1%)	-0.50
SI6	0.65	CY (1%); LS(1%) FA (1%)	-0.13
SI7	0.65	CY (1%); LS(1%) FA (1%); SI7 (5%)	-0.12
SI8	0.67	CY (1%); LS(1%) FA (1%); SI7 (5%)	-0.48

CY: crop yield; FA: field area, LS: longitudinal slope, SIx: shape index

Como puede observarse en la tabla 3, la capacidad efectiva de trabajo de la cosechadora autopropulsada de forraje está muy relacionada con el rendimiento del cultivo, la pendiente longitudinal y la superficie de la parcela a cosechar. En este caso los ajustes son significativamente mejores que los obtenidos en la operación de gradeo.

4. Conclusiones

A los efectos de planificar la actividad de una grada, la forma de la finca a cultivar será una variable altamente significativa en el modelo. Se ha evidenciado que el número de giros es una variable que condicionará en gran medida el rendimiento de la labor de gradeo siendo, junto con la pendiente transversal, variables que proporcionan modelos de regresión con ajustes aceptables para nuestro objetivo. Ha quedado patente no obstante la existencia de variables no incluidas en el modelo, y que tendrán un peso importante en el mismo.

Nuestros esfuerzos para definir un índice de forma que permitiese predecir el mayor número de giros asociados a las parcelas más irregulares no han dado los resultados esperados en la labor de gradeo. Los índices propuestos no han sido significativos en el modelo, siendo el área de la parcela a cultivar la variable más relevante pero con malos ajustes de los modelos. Sin embargo se ha observado que alguno de los índices de forma desarrollados

(los más correlacionados con el número de giros) tenían una elevada correlación de orden 0 con la variable dependiente, similar a la variable área, lo que indica que se ha avanzado en el camino adecuado.

Los resultados obtenidos con las cosechadoras autopropulsadas de forraje son válidos para los objetivos propuestos, ya que se ha conseguido explicar una gran parte de la variabilidad. Los valores de r^2 obtenidos con los nuevos índices de forma ensayados mejoran los obtenidos en estudios anteriores, y además proporciona mejores correlaciones de orden cero. La capacidad efectiva de trabajo está muy condicionada por el rendimiento del cultivo. El índice de forma 5 (SI5) proporciona los mejores resultados y está muy relacionado con el área de la parcela, siendo ambas variables altamente significativas en el modelo.

Referencias

- Amiama, C; Bueno J., Álvarez C.J.. 2008a. Design and field test of an automatic data acquisition system in a self-propelled forage harvester. *Comput. Electr. Agr.*, 61 (2), 192-200.
- Amiama, C., Bueno J., Álvarez C.J. 2008b. Influence of the physical parameters of fields and of crop yield on the effective field capacity of a self-propelled forage harvester. *Biosyst. Eng.*, 100, 198-205.
- Taylor, R.K., Schrock M.D., Staggenborg S.A.. 2002. Extracting machinery management information from GPS data. *Proceedings of the 2002 ASAE Annual International Meeting, Chicago, Illinois, 28-31 July. ASAE Paper No. 021008, 2950 Niles Rd., St Joseph, MI 49085-9659, USA.*
- Witney, B. 1995. Chossing and using farm machinery. *Land Technology Ltd. Scotland*, 192-214

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