

COMPARISON OF EFFECTIVE WORK CAPACITY OF SELF-PROPELLED FORAGE HARVESTERS WITH AND WITHOUT HOPPER

Amiama Ares, C.; Bueno Lema, J.; Cascudo Cao, N.

Universidad de Santiago de Compostela

Today there are two types of self-propelled combines for corn harvest, with and without hopper. The first require greater power, as they have to transport the harvested forage, so its cost is higher. The latter require a vehicle to transport permanently beside where transfer the forage, making more difficult the maneuvers on header.

In this paper we have compared the effective field capacity of both vehicles, discriminating speed rates, time spent on maneuvers and discharge times. Finally there will be a cost study to determine which equipment is more efficient.

The results obtained indicate that there are no significant differences in the aspects analyzed with the use of different harvesters analyzed.

Keywords: *Silage; Corn; SPFH*

COMPARACIÓN DE CAPACIDADES EFECTIVAS DE TRABAJO DE COSECHADORAS AUTOPROPULSADAS DE FORRAJE CON Y SIN TOLVA

En la actualidad en los parques de maquinaria para recolección de maíz coexisten dos tipos de cosechadoras autopropulsadas, con tolva para recoger el forraje y sin tolva. Las primeras requieren mayor potencia, ya que tienen que transportar el forraje cosechado, con lo que su coste es mayor. Las segundas requieren permanentemente un vehículo de transporte a su lado en el que verter el forraje, dificultando las maniobras en las cabeceras.

En este trabajo se han comparado las capacidades efectivas de ambos vehículos, discriminando las velocidades de avance, tiempos invertidos en maniobras y tiempos de descarga. Finalmente se realizará un estudio de costes para determinar que máquina es más eficiente.

Los resultados obtenidos permiten concluir que no existen diferencias significativas en los aspectos analizados con la utilización de las distintas cosechadoras analizadas.

Palabras clave: *Ensilado; Maíz; Cosechadoras*

1. Introducción

En las explotaciones ganaderas gallegas se debe realizar una gestión eficiente y un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles para lograr una menor dependencia en la compra de insumos externos (concentrado), y abaratar costes de producción. Éstos son los pilares básicos a los que es imprescindible incorporarse y sobre los que se sustenta la actividad agraria en las regiones del Arco Atlántico Europeo (González et al., 2007).

Uno de los mayores costes es el coste de la maquinaria, lo que implica que una utilización más eficiente de la maquinaria redundará en un ahorro significativo para el agricultor (Yule et al., 1999).

Las cosechadoras de forraje, además de tener un potente motor, arrastran mucho peso sobre todo si tienen tolva incorporada, y mucho más si la tolva está llena de forraje, pudiendo llegar a cargar 14 toneladas. Todo esto repercute en elevados costes de combustible. Teniendo en cuenta los elevados precios actuales de los carburantes, y su tendencia al alza, es fácil deducir la importancia que este coste representa en el coste horario de las cosechadoras (Ward y Comerford, 1985).

El rendimiento de la cosechadora se ve afectado por varios parámetros, entre ellos la superficie y la forma de la parcela (González et al., 2007). Los efectos negativos por la forma irregular de la parcela son debidos fundamentalmente al tiempo extra de giro y al mantenimiento de los bordes de la parcela. Así en estudios realizados en parcelas de 10 ha (Landers A., 2000), con diferentes morfologías y una máquina de 3 m. de anchura, se ha observado que los mejores rendimientos se obtenían en parcelas rectangulares, siempre que las operaciones fuesen realizadas paralelas a los lados de mayor longitud. Las diferencias se acentúan cuando el tamaño de la parcela disminuye y tienden a desaparecer en parcelas de gran tamaño.

Otra forma de mejorar la eficiencia en las operaciones consiste en planificar previamente el trazado a realizar por la máquina, minimizando los giros y las distancias recorridas en la parcela (Palmer et al., 2003). Trayectorias ineficientes que se producen por eludir obstáculos contribuyen a kilómetros extra recorridos (Liu, 1988). El principal objetivo de establecer una trayectoria eficiente es minimizar los viajes innecesarios (Hunt, 1983). Estudios posteriores (Grisso et al., 2004) también avanzaron en la línea de relacionar trayectorias con capacidades efectivas de trabajo.

Estudios previos (Amiama et al., 2008) llevados a cabo en el mismo entorno geográfico y con parcelas de características orográficas y morfológicas similares a las ahora analizadas concluyen que el rendimiento del cultivo es la variable que mejor explica el rendimiento de la cosechadora y que la siguiente variable con mejor correlación es la superficie de la parcela.

En este trabajo se analizará el comportamiento en la cosecha de maíz forrajero de dos cosechadoras autopropulsadas con prestaciones distintas a la hora de almacenar el forraje recién cosechado.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar el comportamiento de dos cosechadoras autopropulsadas, con tolva y sin tolva, en la campaña de recolección de maíz forrajero. Para ello se han analizado capacidades efectivas de trabajo, trayectorias realizadas y costes totales de cada una de las alternativas evaluadas.

3. Metodología

3.1 Características de las cosechadoras analizadas

Para este trabajo se ha estudiado el comportamiento de dos cosechadoras autopropulsadas de forraje, utilizadas por la cooperativa Irmandiños S.C.G, durante los meses de septiembre y octubre de 2012, coincidiendo con la campaña de recolección de maíz forrajero.

La cosechadora modelo New Holland FX 58 lleva incorporada una tolva modelo 2025 MR, tiene una potencia nominal de 481 CV y estaba equipada con un cabezal para maíz de 8 hileras.

La cosechadora modelo Claas Jaguar 950, con potencia nominal de 530 CV también se equipó con un cabezal de 8 hileras, pero en este caso el forraje cosechado se transfiere al tractor y/o camión que, necesariamente, acompaña a la cosechadora durante el picado del maíz forrajero.

3.2 Datos utilizados y área geográfica de estudio

Para la selección de las parcelas se ha considerado la revisión bibliográfica realizada, se escogieron 82 parcelas con geometría similar y fundamentalmente rectangular, con el objeto de garantizar que la forma de la parcela no sea una variable condicionante en el rendimiento de las cosechadoras.

Del mismo modo, las fincas estudiadas fueron cosechadas durante la campaña de recolección del año 2012 y están localizadas en un entorno geográfico próximo (Norte de Lugo, España), lo que hace suponer que parcelas cercanas tendrán rendimientos de cultivo muy similares. No obstante en aquellos análisis en los que se estima que el rendimiento del cultivo pudiera tener efecto sobre los resultados obtenidos, este factor ha sido considerado como una covariable.

En la tabla 1 se muestra un resumen del trabajo realizado por cada cosechadora.

Tabla 1. Datos generales

	nº fincas	horas trabajo	superficie cosechada (ha)	superficie media (ha)	producción media (tn.ha ⁻¹)	km recorridos
C. con tolva	41	40,52	47,24	1,15	37,06	156,09
C. sin tolva	41	40,15	43,04	1,05	39,05	134,29

Los datos necesarios para el estudio, en el caso de la cosechadora con tolva, se han obtenido del sistema telemétrico que tiene instalado la cosechadora (Amiama *et al.*, 2008).

Para la obtención de los datos de posicionamiento y tiempos de la cosechadora sin tolva se colocaron gps datalogger en la cosechadora y en los transportes. Los datos de producción por parcela fueron facilitados por la cooperativa Irmandiños.

La superficie de las parcelas se obtuvo a partir de la trayectoria capturada por los GPS instalados en las dos cosechadoras. Para el estudio de las trayectorias se desarrolló un software que, basándose en los datos de posicionamiento obtenidos vía GPS, permite visualizar la trayectoria seguida por la cosechadora en cada parcela, mostrando el tiempo y la distancia recorrida en cada momento.

4. Resultados

4.1 Comparación de las capacidades efectivas de trabajo

Se han analizado los resultados obtenidos globalmente y diferenciando las parcelas de menos de 0,5 ha, entre 0,5 y 1,5 ha y de más de 1,5 ha, con el objetivo de comprobar si el tamaño de la parcela condiciona el comportamiento de las cosechadoras analizadas. En la tabla 2 se muestran los resultados medios obtenidos.

Tabla 2. Resultados medios de las cosechadoras analizadas

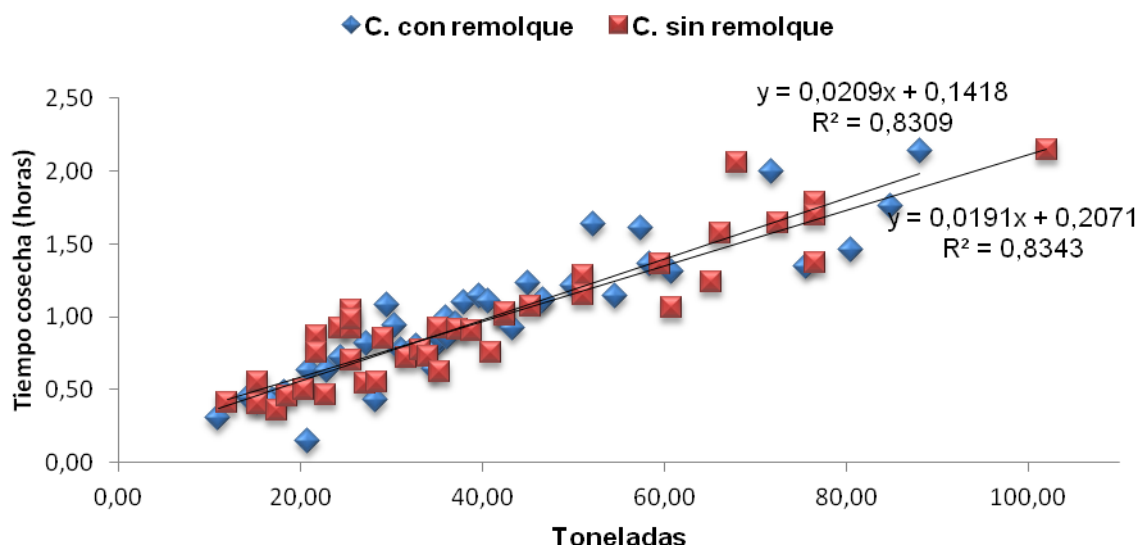
	Capacidad efectiva(ha.h ⁻¹)	Desvest (ha.h ⁻¹)	Distancia recorrida (km.ha ⁻¹)	Desvest (km.ha ⁻¹)
C. con tolva	1,18(a)	0,38	3,43(a)	0,48
C. sin tolva	1,06(a)	0,24	3,27(a)	0,59

Diferentes letras en la misma columna indican datos significativamente diferentes ($p = 0,05$).

De los análisis de varianza realizados, cuando analizamos la capacidad efectiva de trabajo o la distancia recorrida, se concluye que no hay diferencias significativas entre las dos cosechadoras (para un nivel de significación del 5%). Considerando el rendimiento del cultivo como covariable se observa que tiene gran incidencia en la capacidad de trabajo de las dos cosechadoras. Si bien, se observa que la capacidad efectiva de trabajo de la cosechadora con tolva es ligeramente superior a la cosechadora sin tolva.

En la figura 1 se muestra como la cosechadora con tolva es un poco más sensible al rendimiento del cultivo debido, sobre todo, a que a medida que aumenta el rendimiento del cultivo se incrementan las paradas necesarias para descargar la tolva, reduciendo de ese modo el tiempo efectivo de cosecha.

Figura 1. Tiempo de cosecha en función de las toneladas cosechadas



En la tabla 3 se muestran los resultados por rangos de superficie. Al analizar estos resultados, al igual que ocurre con los resultados globales, no se observaron diferencias significativas (para un nivel de significación del 5%) en la capacidad efectiva de trabajo y en la distancia recorrida por las dos cosechadoras. Tan sólo en fincas de más de 1,5 hectáreas la distancia recorrida por las dos cosechadoras es significativamente distinta (para un nivel de significación del 5%), siendo al igual que ocurre en los otros dos casos, la cosechadora con tolva la que realiza más kilómetros.

Tabla 3. Resultados medios por rangos de superficie

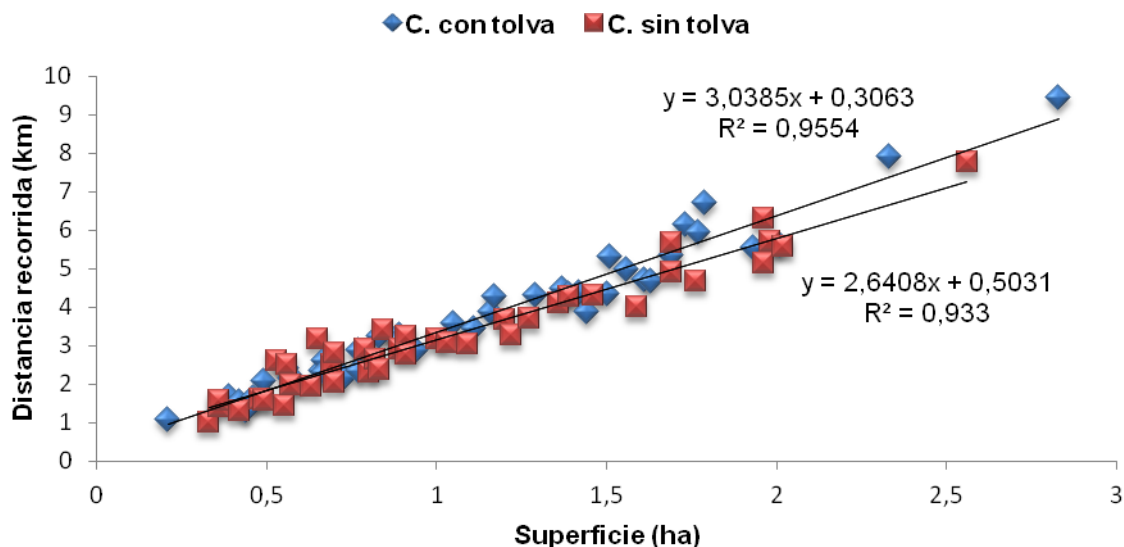
	Capacidad efectiva (ha.h ⁻¹)			Distancia recorrida (km.ha ⁻¹)		
	sup < 0,5 ha	sup 0,5-1,5 ha	sup > 1,5 ha	sup < 0,5 ha	sup 0,5-1,5 ha	sup > 1,5 ha
C. con tolva	1,29(a)	1,09(a)	1,31(a)	3,97(a)	3,40 (a)	3,22(a)
C. sin tolva	0,93(a)	1,05(a)	1,17(a)	3,48(a)	3,35 (a)	2,88(b)

Diferentes letras en la misma columna indican datos significativamente diferentes ($p = 0,05$).

En las dos cosechadoras se observa un mayor número de kilómetros por hectárea cuanto menor es la parcela cosechada, es decir, a medida que aumenta la superficie de la parcela disminuye el recorrido extra por maniobras y giros. En parcelas pequeñas las dos cosechadoras tienden a pasar más veces por zonas ya cosechadas, debido a la necesidad de usar estas zonas para las maniobras.

En la figura 2 se puede comprobar como para cosechar la misma superficie la cosechadora con tolva realiza más kilómetros que la cosechadora sin tolva, más patente a medida que aumenta la superficie. La cosechadora con tolva aprovecha su independencia para realizar trayectorias más rápidas, lo que implica giros (o cambios de trayectoria) más abiertos, necesitando para ello más superficie. También es habitual que, aprovechando la superficie ya cosechada, se acerque al transporte para descargar el maíz recién picado, incrementando de este modo los kilómetros recorridos.

Figura 2. Distancia recorrida en función de la superficie de la parcela



Se ha estudiado además la velocidad de las dos cosechadoras en un total de 1334 trayectorias, siendo la cosechadora con tolva la que tiene una mayor velocidad de trabajo, es más rápida en la realización de maniobras y también en tramos rectos. Se muestran los resultados en la tabla 4.

Tabla 4. Resultados medios por rangos de superficie

	Velocidad recta (km.hora ⁻¹)	Velocidad giros (km.h ⁻¹)	Velocidad media (km.h ⁻¹)
C. con tolva	4,72(a)	3,87(a)	4,29(a)
C. sin tolva	4,54(a)	2,79(a)	3,69(a)

Diferentes letras en la misma columna indican datos significativamente diferentes ($p = 0,05$).

Del análisis estadístico realizado, considerando el rendimiento del cultivo como covariable, se concluye que las diferencias entre las velocidades de trabajo de las dos cosechadoras no son significativas (para un nivel de significación del 5%), observándose una gran incidencia del rendimiento del cultivo en la velocidad de trabajo de las dos cosechadoras. A mayor rendimiento del cultivo la velocidad de trabajo de las cosechadoras se reduce para poder picar correctamente todo el maíz.

4.2 Evaluación de las trayectorias

Por lo general, las dos cosechadoras tienen formas distintas de cosechar las parcelas. La cosechadora con tolva tiene mayor libertad a la hora de definir las trayectorias a seguir, no necesita coordinarse con ningún transporte, lo que hace que varíe más sus trayectorias. Por el contrario, la cosechadora sin tolva debe realizar giros que faciliten tanto su maniobra como la maniobra del tractor o camión que trabaja simultáneamente con ella, guardando la distancia mínima para no derramar el forraje cosechado. En las figuras 3 y 4 se muestra, de forma simplificada, un ejemplo de la trayectoria que siguen.

Figura 3. Trayectoria cosechadora con tolva

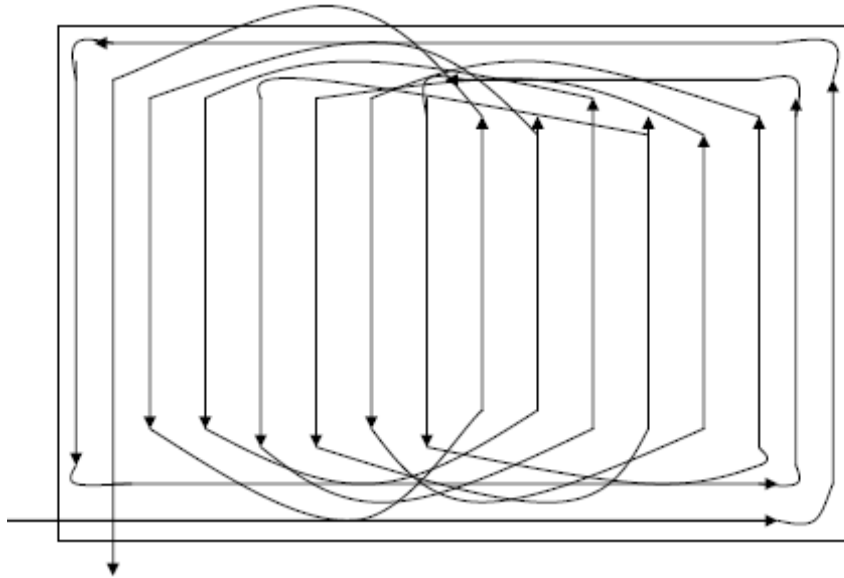
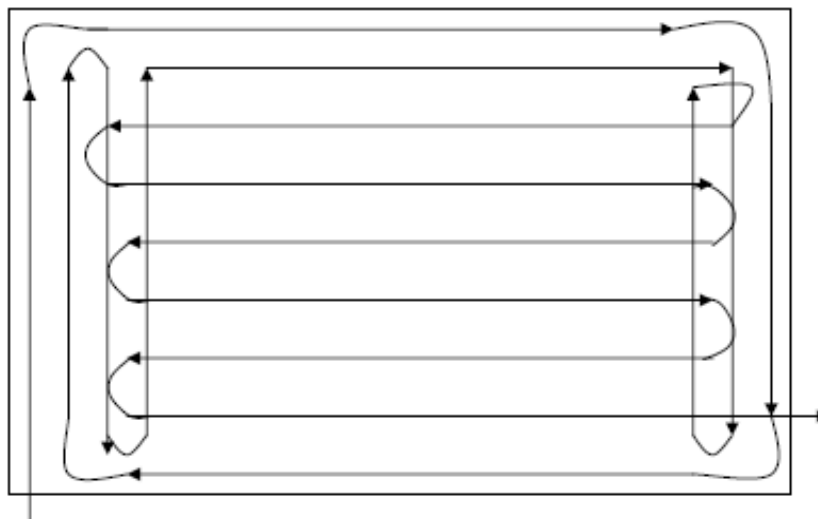


Figura 4. Trayectoria cosechadora sin tolva



También es frecuente, para la cosechadora sin tolva, cosechar la finca desde fuera hacia dentro, dibujando un caracol.

Las distintas formas de atacar las parcelas dificultan la comparación de las trayectorias efectuadas por cada máquina. Se observa que la cosechadora sin tolva encuentra más dificultades a la hora de trabajar las fincas de menor superficie, debido al mayor número de maniobras que necesita para poder iniciar la cosecha de una nueva hilera. En general, necesita más tiempo para cambiar el sentido de la trayectoria que la cosechadora con tolva.

La cosechadora con tolva acostumbra a pasar más veces por zonas ya cosechadas, o bien para agilizar la descarga del maíz, acercándose al camión, o bien para cambiar la trayectoria de un modo más rápido evitando dar marcha atrás.

4.3 Evaluación económica

Para la evaluación económica, además de considerar el coste horario de cada cosechadora, es necesario contabilizar el coste horario de los medios de transporte que, como mínimo, son necesarios para llevar a cabo un ciclo completo de cosecha.

La cosechadora con tolva únicamente necesita un camión que se encargue del transporte del maíz picado al silo, mientras que la cosechadora sin tolva necesita, además, otro camión que trabaje paralelamente a ella para poder descargar el maíz recién cosechado.

Los costes horarios habituales en la zona de la cosechadora con tolva es de 315 €/hora⁻¹, de la cosechadora sin tolva de 250 €/hora⁻¹ y del camión/tractor 50 €/hora⁻¹. La diferencia de costes entre las dos máquinas viene dada por el coste de mantenimiento y coste de combustible de cada máquina. En la tabla 5 se muestran los resultados de la evaluación económica.

Tabla 5. Coste medio (€/ha⁻¹)

	Sup < 0,5 ha	Sup 0,5-1,5 ha	Sup > 1,5 ha	Coste total
C. con tolva	353,26(a)	345,35(a)	292,63(a)	331,08(a)
C. sin tolva	389,78(a)	356,02(a)	302,93(a)	349,31(a)

Diferentes letras en la misma columna indican datos significativamente diferentes ($p = 0,05$).

Se observa un mayor coste por ha para las fincas cosechadas con la cosechadora sin tolva y esta diferencia es mayor cuanto menor es la superficie a cosechar. Sin embargo, el análisis de varianza concluye que las diferencias no son significativas para un nivel de significación del 5%. Si consideramos la producción (tn.ha⁻¹) como covariable este efecto es todavía más notable, ya que las diferencias se vuelven todavía menos significativas.

5. Conclusiones

- Del estudio realizado, se concluye que no hay diferencias significativas a la hora de cosechar las fincas con cosechadoras con tolva o sin tolva. Si bien, la cosechadora sin tolva es más sensible al incremento de superficie de la parcela.
- La mayor velocidad de la cosechadora con tolva se compensa con el mayor número de kilómetros que recorre para cosechar la misma superficie y el tiempo que necesita para la descarga de forraje al transporte.
- Las distintas trayectorias seguidas a la hora de cosechar las parcelas no se traducen en una mayor o menor capacidad efectiva de trabajo.
- A pesar del menor peso, la cosechadora sin tolva es más lenta debido, fundamentalmente, a la coordinación necesaria entre la cosechadora y el transporte en el que descarga el maíz.
- Los diferentes costes horarios de las dos cosechadoras, unido a que no hay diferencias en la capacidad efectiva de trabajo, hace que no haya diferencias significativas en los costes de cosecha. Por lo tanto, la única limitación a la hora de plantear la cosecha será el número de transportes disponibles.

6. Agradecimientos

Los autores desean agradecer de modo especial la colaboración prestada a la cooperativa agraria "Os Irmandiños" en el proceso de obtención de los datos necesarios.

7. Referencias

- Amiama, C., Bueno, J., Álvarez, C.J., Pereira J.M. (2008). Design and field test of an automatic data acquisition system in a self-propelled forage harvester. *Computers and Electronics in Agriculture*, 61(2):192-200.
- Amiama, C., Bueno, J., Álvarez, C.J., Pereira J.M. (2008). Influence of the physical parameters of fields and of crop yield on the effective field capacity of a self-propelled forage harvester. *Biosystems Engineering*. 100 (2): 198–205
- González, A., Vázquez, O. P., López, J. (2007). Presión de pastoreo y concentrado en la producción eficiente de leche en zonas húmedas. *Actas XLVI Reunión Científica de la S.E.E.P. Vitoria*, 445-451.
- Grisso, R.D., Kocher, M.F., Adamchuck, V.I., Jasa, P.J., Schroeder, M.A. (2004). Field efficiency determination using traffic pattern indices. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(5), 563–572.
- Hunt, D. (1983). *Farm Power and Machinery Management*, 8th Edn. Iowa State University Press, Ames, IA
- Yule, I.J., Kohnen, G., Nowak. M. (1999). A tractor performance monitor with DGPS capability. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23 (0) 155.
- Landers, A. (2000). *Resource Management Farm Machinery: Selection, Investment and Management*. Farming Press, Tonbridge, UK
- Liu, G. (1988). Computer generation of efficient farm field courses. MSc Thesis, University of Regina, Regina, SK, pp 1–10
- Palmer, R.J., Wild, D., Runtz, K. (2003). Improving the efficiency of field operations. *Biosystems Engineering*. 84 (3), 383-288.
- Ward, S.M., Comerford, P. (1985). Fuel consumption of grass silage mechanisation systems. *Energy in Agriculture*. 4, 365-368