

Desempeño de cosechadora con sistemas de regulación automáticos

Tourn, S²; Vazquez, J.M.¹ Platz, P.²; Merani, V.H.¹; Mur, M.¹; Larrieu, L.¹; Ferro, D.¹; Guilino, F.¹; Pereira, E.¹; Giambelluca, A.L.¹

tourn.santiago@gmail.com, juanmvaz@hotmail.com, pedroplatz@gmail.com,
victor.merani@agro.ulp.edu.ar, matilde_mur@hotmail.com, larrieuluciano@gmail.com,
daniel.ferro@agro.unlp.edu.ar, fquilino_33@hotmail.com,
pereiraestebanivan@gmail.com, giambellucalau@gmail.com. 1 CISSAF FCAyF UNLP,
La Plata, Buenos aires, Argentina. 2: Mecanización Agrícola, FCA Balcarce-UNMdP,
Ruta 226 Km 73,5, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.

**Trabajo presentado al
Segundo Congreso Latinoamericano de Agricultura de Precisión
(CLAP2022)
30-31 de Marzo y 1 de Abril de 2022 Manfredi, Córdoba, Argentina**

Resumen. La automatización del control de velocidad de las cosechadoras se basa en mantener un flujo de alimentación estable, liberando al operador. Los ajustes se realizan con una frecuencia mayor y en situaciones en las que el operador no podría detectar las variaciones de la condición del cultivo. Se puede definir si el ajuste automático se realiza para reducir las pérdidas o mejorar la calidad del grano. Existe escasa información que comparen los sistemas automáticos de las cosechadoras respecto al uso manual. El objetivo de este trabajo fue comparar el desempeño de las cosechadoras en modo de trabajo automático y manual, en cuanto a pérdidas de cosecha y calidad de grano. Se realizó la evaluación de una cosechadora John Deere 780 con el sistema ICA2, en un cultivo de trigo de 4700 kg/ha, 50 km al sur de Tandil. Se fijaron 3 tratamientos, uso manual de la cosechadora (Manual7) y automático priorizando pérdidas (AutPer7) y priorizando calidad (AutCal7). Las pérdidas de grano fueron en promedio 3 veces menores cuando se utilizó la automatización. Además, AutCal7 generó la mejor calidad de grano, clasificándose en grado 1, mientras que AutPer7 tuvo grado 2 y Manual7 grado 3, explicado por % de materias extrañas. En el balance económico entre pérdidas y calidad de granos, el tratamiento AutCal7 fue el que menores pérdidas de ingreso bruto generó. Esto demuestra una mayor eficiencia de los automatismos ICA2 de John Deere respecto al uso manual, pero hay que seguir evaluando en otras condiciones y tipos de cultivos.

Palabras clave.

Cosecha ; Inteligencia Artificial; Trigo; perdidas de grano

Introducción

Tradicionalmente una cosechadora se regula para minimizar las pérdidas de grano a un determinado valor de índice de alimentación, suficientemente elevado para lograr una buena capacidad de trabajo. Luego, para sostener ese nivel de pérdidas, se cosecha manteniendo el índice de alimentación mediante el ajuste de la velocidad, de acuerdo a las fluctuaciones de rendimiento del cultivo. La aparición de los sistemas automáticos de control de velocidad tienen por objetivo mantener un flujo o índice de alimentación estable, liberando al operador de la cosechadora de esta tarea a lo largo de la jornada de cosecha (*Kutzbach, 2004*). Además realizan los ajustes con una frecuencia mayor y en situaciones en las que el operador no podría detectar las variaciones de la condición del cultivo. El operador de la cosechadora debe definir si el ajuste automático de la velocidad se realiza para reducir las pérdidas de grano o maximizar la capacidad de trabajo de la cosechadora manteniendo una alta carga del motor. Además el sistema requiere definir algunos parámetros operativos en la consola de la cosechadora como, la velocidad máxima admitida, la sensibilidad al modificar la velocidad, el porcentaje de carga del motor con el que se desea trabajar. Aún en condiciones de cultivo en que los sistemas de control automático. En los últimos diez años se buscó automatizar los ajustes de las regulaciones de los sistemas de trilla y limpieza ante cambios del índice de alimentación u otros que se fueran produciendo en el cultivo cosechado (*Böttinger 2016*). Así, fue necesario el desarrollo de sensores que midieran de forma continua e instantánea, no solo las pérdidas de grano sino también la ocurrencia de daño mecánico al grano o la presencia de material no grano llegando a la tolva de grano limpio. De este modo ante cada ajuste automático que realiza la cosechadora releva inmediatamente si fue efectivo o debe ser corregido. Actualmente, las cosechadoras traen un modo de trabajo completamente automático, que cuando es activado realiza los ajustes sin consultar al operador de la cosechadora, aunque este puede retornar al modo manual en cuanto lo decida. Si bien un operador capacitado puede considerar innecesario un sistema automático ya que tiene la experiencia, para a lo largo de una jornada de cosecha, interpretar adecuadamente cuando hacer las regulaciones necesarias, los sistemas automáticos permiten realizar los ajustes con mayor frecuencia (*Wolfgang, 2019*). Se estima que se logra un incremento del 20% de capacidad de trabajo (*Mendieta, 2012*). Estos sistemas además permiten que operadores con poca experiencia logren optimizar el funcionamiento de la cosechadora desde el primer día. El objetivo de este trabajo fue comparar el desempeño de las cosechadoras en modo de trabajo automático y manual, en cuanto a pérdidas de cosecha y calidad de grano.

Materiales y métodos

Para evaluar el desempeño de los sistemas de automatización de cosecha, se realizó la evaluación de una cosechadora John Deere 780 con el sistema ICA2, en un cultivo de trigo de 4700 kg/ha, 50 km al sur de Tandil. El trabajo se realizó el 4 de enero de 2022.

La cosechadora estaba equipada con el sistema de ajuste integrado de cosechadora 2 (ICA2), por lo que inicialmente se ejecutó la función de optimización mediante la cual la cosechadora comienza a trabajar con las regulaciones por defecto para el cultivo seleccionado y va realizando ajustes para mejorar la performance a partir de la información que releva de los sensores de pérdidas y calidad de grano. Al finalizar la optimización se realizan mediciones de pérdidas con la metodología del *INTA PRECOP (2011)* para comprobar el desempeño de la cosechadora.

Tratamientos

Para evaluar el funcionamiento del sistema de regulación automático de la cosechadora se definieron tres tratamientos:

- Control manual por parte del operador de la cosechadora con una velocidad ajustado por el operador pero en torno a los 7 km/h (manual7).
- Control automático de la cosechadora:
 - +ajuste automático de velocidad “HarvestSmart” (límite de 7 km/h) (AutPer7),
 - +función “Automantenimiento” activada,
 - +prioridad en la reducción de pérdidas de cosecha,
- Control automático de la cosechadora:
 - +ajuste automático de velocidad “HarvestSmart” (límite de 7 km/h) (AutCal7),
 - +función “Automantenimiento” activada,
 - +prioridad en la calidad de grano.

Parámetros evaluados

Se realizaron evaluaciones de pérdidas por cosecha mediante la metodología del *INTA PRECOP (2011)* y se tomaron muestras de grano de la tolva de la cosechadora para evaluar calidad de grano. El índice de alimentación de la cosechadora se calculó a partir de los mapas de rendimiento del cultivo. Como el monitor de rendimiento de la cosechadora registraba un dato por segundo y tenía un retardo de flujo aproximado de 5 segundos, para el índice de alimentación se tomó un valor medio de todos los registros de los 10 metros previos a las coordenadas donde se midieron las pérdidas de cosecha.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente aleatorizado con 6 repeticiones por tratamiento.

Se realizó realizaron los test de normalidad y homocedasticidad y el análisis de varianza y test de comparaciones múltiples con los datos de índice de alimentación, pérdidas de cosecha y calidad de grano, además de un análisis de regresión con los datos de índice de alimentación y pérdidas de cosecha. Todos los análisis se realizaron con el software R 4.1.1 y la interfaz gráfica RStudio 3.5.1.

Resultados y discusión

Las condiciones ambientales medidas durante las mediciones cómo humedad relativa, temperatura y velocidad del viento tuvieron baja variación, 23° a 25°C de temperatura, 35 % a 40 % de humedad relativa y 20 a 25 km/h de viento. La humedad del grano durante el periodo de ensayo se mantuvo entre 10,5 % y 11%.

En las mediciones de pérdidas por cosecha no se registraron pérdidas por cabezal o fueron insignificantes y por ellos se muestran las pérdidas por cola que son las directamente afectadas por los sistemas automáticos de regulación.

Las pérdidas por cola presentaron valores por debajo de las tolerancias de pérdidas por cosecha en trigo de 80 kg/ha (*INTA PRECOP, 2011*) distribuidas aproximadamente 50 % por cola y 50 % por cabezal (Figura 1). Entre los tratamientos se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$), así el tratamiento Manual7 registró los mayores niveles de pérdidas de granos y los menores AutPer7 y AutCal7, que no se diferenciaron entre sí. Sin embargo, AutPer7 registró valores muy bajos y que logran una eficiente de cosecha del 99.89 %.

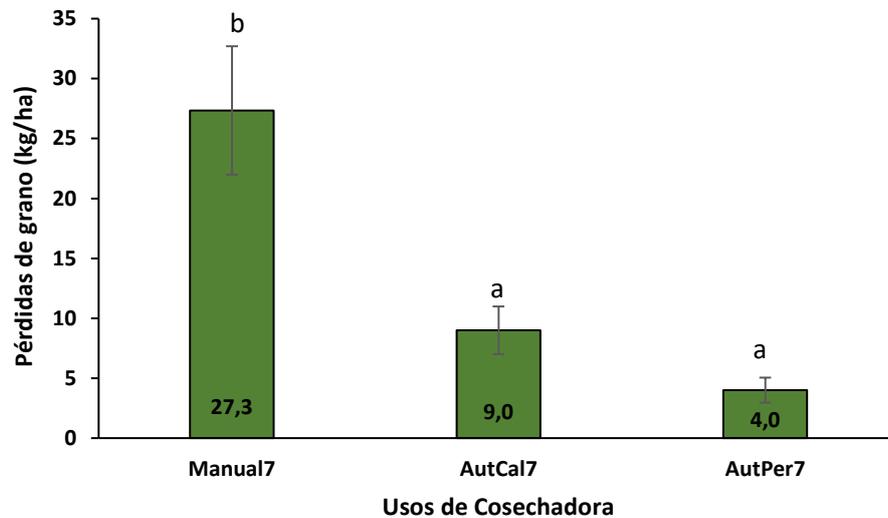


Figura 1 Análisis de varianza de las pérdidas por cola.

En la figura 2 se presenta el comportamiento de las pérdidas de grano en función del índice de alimentación. Para que se pueda comparar velocidades máximas, se utilizaron los tratamientos de 7 km/h (*Manual7*, *AutCal7* y *AutPer7*). En esta figura se observa que partiendo de los índices de alimentación más bajos en torno a las 32 t/h, con la cosechadora trabajando en modo manual el índice de alimentación varía hasta un 26 % y en modo automático entre un 11 % y 18 %, lo que es consecuencia de una menor capacidad de adecuación de la velocidad a las fluctuaciones del rendimiento en el modo manual. El hecho de que los valores mínimos de índice de alimentación sean similares entre los modos de operación automático y manual, es compatible con el hecho de que con la función “HarvestSmart” se define un límite superior de velocidad para evitar que el incremento de velocidad en zonas de bajos rendimientos termine afectando a otros sistemas de la cosechadora como por ejemplo la recolección.

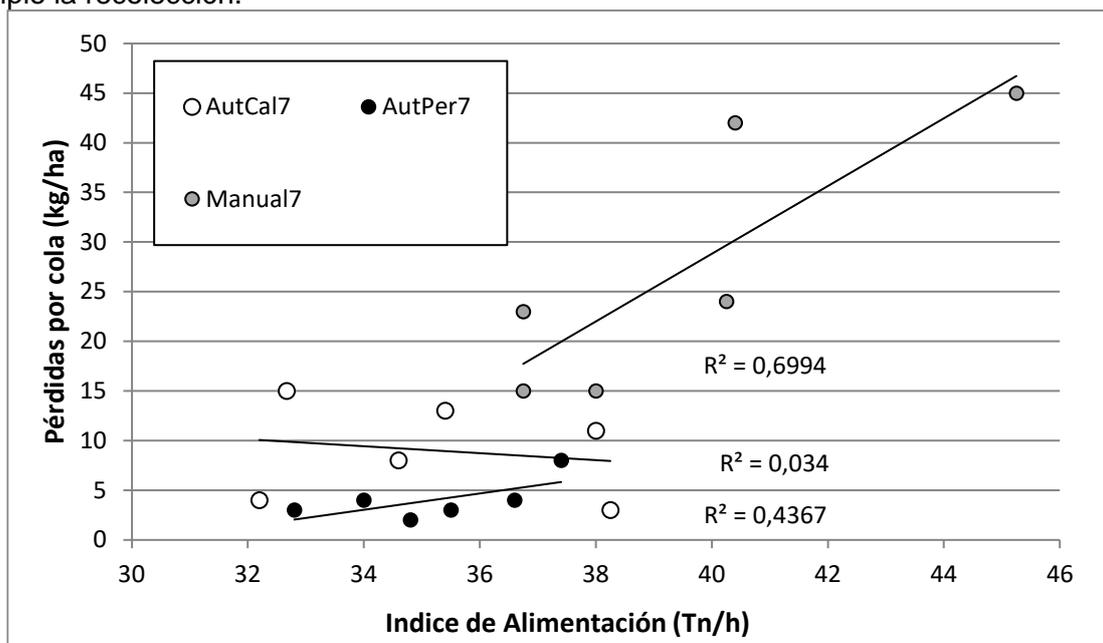


Figura 4. Comportamiento de las pérdidas por cola de trigo de la cosechadora en función del índice de alimentación para diferentes usos de los automatismos de una cosechadora John Deere S780.

Cuando la cosechadora trabajo en modo manual, las pérdidas por cola llegan a 45 kg/ha y tienden a aumentar 7 kg/ha por cada t/h que aumenta el índice de alimentación. Por el contrario, cuando la cosechadora trabaja de modo automático, las pérdidas por cola no superan los 8 kg/ha cuando se prioriza la reducción de pérdidas, ni los 15 kg/ha cuando se prioriza la calidad de grano y en ambos casos la relación entre el índice de alimentación y las pérdidas de cola es no significativa ($p < 0,05$). Esto es compatible con el hecho de que la cosechadora no solo contaba con el sistema de ajuste automático de velocidad, sino también con el ajuste automático de las regulaciones de los sistemas de trilla y limpieza. Por lo que cada vez que las variaciones del índice de alimentación afectan desfavorablemente a las pérdidas por cola o la calidad de grano, la cosechadora modifica las regulaciones para revertir estos cambios. Cuando la cosechadora trabaja de forma automática priorizando la calidad de grano, se registra un reducido incremento de las pérdidas por cola pero estas nunca superan los 15 kg/ha que es del 0,3 % del rendimiento.

Respecto a la calidad de grano, el análisis de grano quebrado y materias extrañas (relacionado al uso de la máquina), muestran comportamientos diferenciales entre tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1 .a) Parámetros de calidad de trigo pan para cada tratamiento. b) Valores de pérdidas de granos de trigo, costos que implican, grado de comercialización y los ingresos brutos y diferencia de ingresos entre tratamientos.

a)

Tratamiento	Parámetros de calidad afectado por la cosechadora		
	Granos quebrados (%)	Materias Extrañas (%)	Grado
Manual7	0.05 a	1.55 b	3
AutCal7	0.14 a	0.20 a	1
AutPer7	0.26 a	0.33 a	2

b)

Tratamiento	P. Cola Kg/ha	Costo P. Cola USD/ha	Total Costo USD	Grado	Bon/Desc USD/t	Ing. Bruto USD	Dif USD	Pérdida ing. Bruto USD/ha
Manual7	27.3	6	720	3	220.0	124.080	-1834	-21.2
AutCal7	9.0	2.0	240	1	223.3	125.914	0	-2.0
AutPer7	4.0	0.8	96	2	220.0	124.080	-1.834	-15.3

En la Tabla 1a, se observa que no hubo diferencias significativas en Granos Quebrados entre tratamientos y en ningún caso se superó la tolerancia de 0,5% para salir de grado 1. En cambio, para Materias Extrañas, los tratamientos que ajustaron por calidad, presentaron los menores valores, AutCal7 logró el % más bajo de Materias Extrañas y el mejor grado (1) Las materias extrañas en el tratamiento Manual7, hicieron que el grado caiga a 3, aplicándose descuentos a esa mercadería. Por otro lado, Manual7 presentó los mayores niveles de pérdidas de ingreso bruto en el sistema, en total: 21,2 USD/ha respecto a 2.0 USD/ha para el mejor tratamiento que fue AutCal7, que se diferenció fuertemente del resto debido a que fue el único grano que clasificó Grado 1 y las pérdidas de grano fueron muy bajas (Tabla 1b).

Conclusiones

Para las condiciones del ensayo, la automatización de los sistemas de control de calidad y de pérdidas de grano permitió aumentar la eficiencia del sistema, pero debería evaluarse en otras condiciones y tipos de cultivos.

Agradecimientos

El trabajo se realizó con aporte del PEi177 de INTA y de Rural Ceres-

Referencias

- Böttinger, S. (2016). Mährescher. In: L. Frerichs (Ed), Jahrbuch Agrartechnik 2015. 27, 158-170.
- INTA PRECOP (2011). Cosecha de Trgo con valor agregado en origen. Actualización técnica n° 68. INTA.
- Kutzbach, H. D. (2004). Combine Harvesters. In: Matthies, H. J. & Meier. F. (Ed.), Yearbook Agricultural Engineering 2004. Landwirtschaftsverlag, MuKnster
- Mendieta, S. (2012). Más Lexion. Revista Agrotécnica, 9: 40-42.
- Wolfgang, R. (2019). Jedes Korn zählt. VDI nachrichten e-paper. <https://www.vdi-nachrichten.com/technik/automation/jedes-korn-zaehlt/>