CROP FOCUS
Servicio Agronómico

PIONEER®

Datos del monitor de rendimiento para la toma de decisiones de manejo.

El objetivo de este resumen es examinar la precisión de los sistemas de monitoreo de la producción integrados en las cosechadoras, y evaluar el estado actual de la precisión de los mapeos de rendimiento a partir de estos datos en base a un conjunto de datos procedentes de ensayos en bandas de variedades de maíz Pioneer.

Precisión del monitor de rendimiento – Potencial vs. Realidad

Los monitores de rendimiento son capaces de proporcionar estimaciones muy precisas del rendimiento del maíz. A mediados de la década de 1990, los investigadores de Pioneer realizaron una evaluación de los mapeos de rendi-miento de las cosechadoras, comparándolos con pesadas con vagoneta (Doerge, 1997). En un estudio de 3 años rea-lizado en seis localizaciones en Dakota del Sur se encontró una correspondencia muy estrecha entre los rendimientos obtenidos con una vagoneta y una cosechadora con monitoreo de rendimiento previamente calibrado (R2=0.967) (Nelson et al., 2015). Del mismo modo, un estudio de la Universidad de Purdue encontró que las estimaciones de rendimiento de las cosechadoras se encuentran dentro del 1% del rendimiento determinado con la pesada con vagoneta (Nielsen, 2017).

Sin embargo, a pesar del alto nivel de precisión que se puede alcanzar con los monitores de rendimiento de las cosechadoras, es razonable sospechar que gran parte de los datos de rendimiento están muy por debajo de este potencial de precisión alcanzable. En primer lugar, las cosechadores requieren de una calibración adecuada, y si el sistema de monitoreo de la producción no se calibra según las características del grano que se está cosechando, o no se calibra en absoluto, las estimaciones de rendimiento con la cosechadora pueden estar distorsionadas. No es raro en-contrar errores del 7 al 10% para el maíz cosechado al fi nal de la temporada si el monitor de rendimiento fue calibrado solo al comienzo de la temporada de cosecha debido a las diferencias en el contenido de humedad del grano (Nielsen, 2017). Un estudio de 2015 de la Universidad de Wisconsin determinó la precisión del monitor de rendimiento mediante la realización de controles aleatorios al azar de las cose-chadoras durante la cosecha (Luck, 2017). De las cuatro cosechadoras, dos tenían tasas de error del 1 al 3%, y dos tenían tasas de error en el rango del 6 al 9%.

Resumen de la evaluación

A continuación, se muestra una comparación de los datos de monitor de rendimiento de cosechadoras con los obtenidos mediante pesadas en vagoneta (vagones/remolques de pesada). Los datos proceden de 286 ensayos llevados a cabo entre 2013 y 2016 en Estados Unidos. Se utiliza los datos de ensayos por la cantidad de datos precisos que se obtienen a cerca de la producción y rendimiento con las pesadas en vagoneta. Estos datos sirven de referencia para evaluar la precisión de las estimaciones hechas por los sistemas de monitoreo de las cosechadoras que cosecharon esas mismas bandas, y que estimaron la producción y rendimiento.

Como resumen del resultado de lo que presenta a continuación, se observó una tasa de error del monitor de rendimiento en comparación con respecto a la pesada con las vagonetas estuvo dentro de un 3% de error en más de la mitad de las localizaciones (59%), se sobreestimó en un 12% de las localizaciones y se subestimó el rendimiento en el 27% restante de las localizaciones. Los datos de los monitores de rendimiento de cosechadoras determinaron correctamente las diferencias entre híbridos en un 41% de las localizaciones, y seleccionaron correctamente el mejor híbrido en el 50% de los ensayos. Los resultados de los ensayos más grandes (>4 ha) sugiere que cerca de un tercio de los datos del monitor de rendimiento a escala de campo son inexactos, lo que tiene importantes implicaciones para el tratamiento de los datos y la toma de decisiones basadas en los datos del monitor de rendimiento.

Método

Entre 2013 y 2016 se recogieron datos de rendimiento mediante la pesada con vagoneta y mediante el monitor de rendimiento de la cosechadora. Estos ensayos incluyeron un total de 3,923 entradas (pesadas/parcelas elementales) en 286 localizaciones, en 15 estados de Estados Unidos y en una provincia canadiense. La marca de monitores de rendimiento utilizada en cada ensayo no se registró. Tampoco se determinó el estado de calibración de los monitores de rendimiento, que en cualquier caso se podría inferir hasta cierto punto en función de la precisión de las estimaciones de rendimiento por la cosechadora en comparación con las pesadas con vagoneta. Los ensayos se encontraron en un amplio número de localidades, por lo que se puede considerar que el conjunto de los datos es una muestra representativa de los datos de rendimiento que recolectan los productores en Estados Unidos.

El tamaño de los ensayos incluidos en el análisis varió ampliamente. Así como el número de variedades (parcelas elementales) por ensayo varió de 2 a 49, con la mayoría de los ensayos con un número de variedades entre 8 y 16. La longitud de la banda (parcela elemental) varió entre 70 y 1432 metros y el ancho de la banda entre 3 y 15 metros. Con la calibración adecuada del sistema de monitoreo del rendimiento de la cosechadora se considera que puede alcanzarse una estimación del rendimiento de entre el 1 y el 3% del grano total cosechado en un campo (Darr, 2016). En este caso, se consideró "precisa" una estimación del rendimiento que estuviese dentro del 3% del rendimiento determinado con la vagoneta de pesada.

Resultados. Precisión General

La comparación de las 3.923 pesadas individuales con vagonetas (parcelas elementales), con la estimación de rendimiento del sistema de monitoreo de la cosechadora resultó en una R2 de 0.8453 (Figura 1), indicando una menor precisión que la reportada por Nelson, et al. (R2=0.967). La pendiente de la regresión indica una ligera tendencia a sobrestimar el rendimiento a bajos niveles de rendimiento y a subestimar el rendimiento en los niveles altos de rendimiento. En el 55% de las comparaciones, las estimaciones del monitor de rendimiento estuvieron dentro del 3% del rendimiento obtenido mediante pesada con vagoneta.

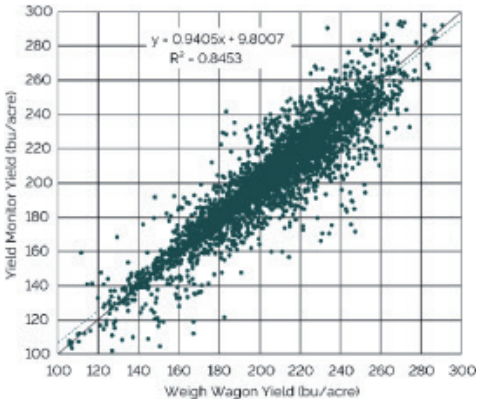

Figura 1: Relación entre el rendimiento obtenido con los datos de la vagoneta de pesada y la estimación de rendimiento del sistema de monitoreo de la cosechadora en 3.923 comparaciones en 286 lugares, 2013-2016.

Precisión de Localización

Por lugares, de los 286 lugares donde se realizaron las pruebas, la tasa de error promedio del monitor de rendimiento estuvo dentro de +/-3% en 168 lugares (el 59% de las localizaciones), con el monitor de rendimiento sobrestimado el rendimiento en 12% de las ubicaciones y subestimando el rendimiento en 27% de las localizaciones (Figura 2). El error de las estimaciones fue de más del 10% en el 7% de las ubicaciones.

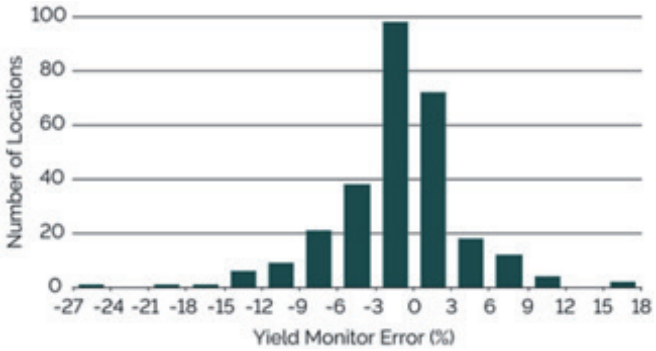

Figura 2: Distribución de los errores (porcentaje) promedios en 286 ubicaciones, 2013-2016: a partir de la diferencia entre rendimiento obtenido con el sistema de monitoreo de la cosechadora y las mediciones a partir de la pesada con vagoneta, en porcentaje sobre la media de rendimiento de cada ubicación.

Precisión en la clasificación de variedades

Con la creciente dependencia de los datos del monitor de rendimiento como base para evaluar los híbridos y las prácticas agronómicas en ensayos en fincas, es importante comprender las limitaciones de esta tecnología para hacer comparaciones oportunas y consistentes. Un estudio previo en 1996 comparó las estimaciones de rendimiento con el sistema de monitoreo de la cosechadora con los rendimientos obtenidos mediante las pesadas con vagoneta, y utilizó la correlación de clasificación de Spearman para evaluar la precisión de la clasificación de las variedades en los ensayos obtenidas con los datos de una y otra fuente (Doerge, 1997). El coeficiente de correlación (R) en esta prueba puede variar desde 1, lo que indica una correlación perfecta entre la clasificación de híbridos según datos del monitor de rendimiento y la clasificación según datos de la pesada con la vagoneta, a -1, lo que indica una correlación inversa. Un coeficiente de correlación de cero indica que no existe correlación. Se utilizó un umbral mínimo de 0,93 para designar la clasificación de variedades en un ensayo como "precisa".

En el estudio de 1996, en 19 ubicaciones de estudio con un promedio de 16 variedades por localización, la correlación promedio entre las estimaciones del monitor de rendimiento y las mediciones del peso del vagón para las entradas de clasificación fue de 0,78. Las clasificaciones de las variedades a partir de los datos del monitor de rendimiento fueron correctas en 6 de 19 ubicaciones (32%). El monitor de rendimiento seleccionó correctamente la variedad de mayor rendimiento en 8 de las 19 ubicaciones (42%).

Esta misma metodología se aplicó a un subconjunto de 150 localizaciones del presente estudio, con un número similar de variedades por ubicación como en el estudio de 1996 (de 12 a 20 entradas). La precisión del monitor de rendimiento la clasificación de las variedades fue ligeramente mejor en el estudio actual que en el estudio de 1996. El coeficiente de correlación promedio en todas las ubicaciones fue de 0,80 con una clasificación correcta de las variedades en el 41% de las ubicaciones, a partir de los datos del monitor de rendimiento. El monitor de rendimiento seleccionó correctamente la variedad de mayor rendimiento en 75 de 150 ubicaciones (50%). En las Figuras 3, 4 y 5 se muestran ejemplos de ensayos individuales del estudio actual con diferentes niveles de precisión del monitor de rendimiento en la estimación de los rendimientos globales y la clasificación de las variedades.

Sobre estas 150 ubicaciones, en 92 ubicaciones (61%), la tasa media de errores del monitor de rendimiento estuvo dentro de un 3% de error, es decir, el monitor de rendimien-to proporcionó una estimación precisa del rendimiento en términos absolutos, dentro de ese error aceptable del 3%. En el 28% de las ubicaciones, las estimaciones del monitor de rendimiento proporcionaron una estimación precisa del rendimiento, así como una clasificación precisa de las variedades (Figura 6).

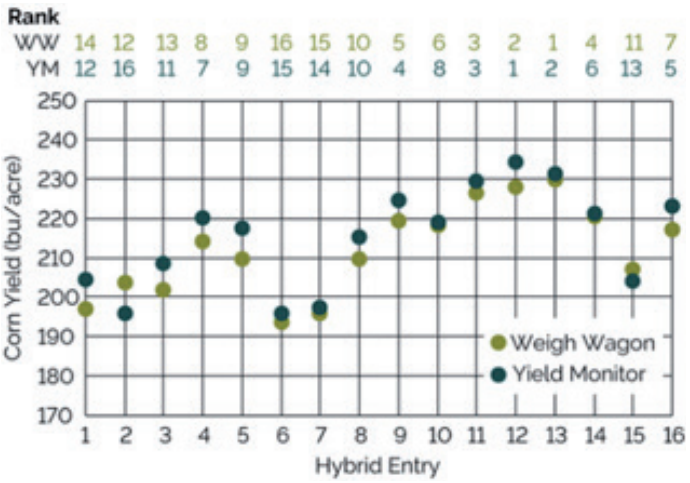

Figura 2: Distribución de los errores (porcentaje) promedios en 286 ubicaciones, 2013-2016: a partir de la diferencia entre rendimiento obtenido con el sistema de monitoreo de la cosechadora y las mediciones a partir de la pesada con vagoneta, en porcentaje sobre la media de rendimiento de cada ubicación.

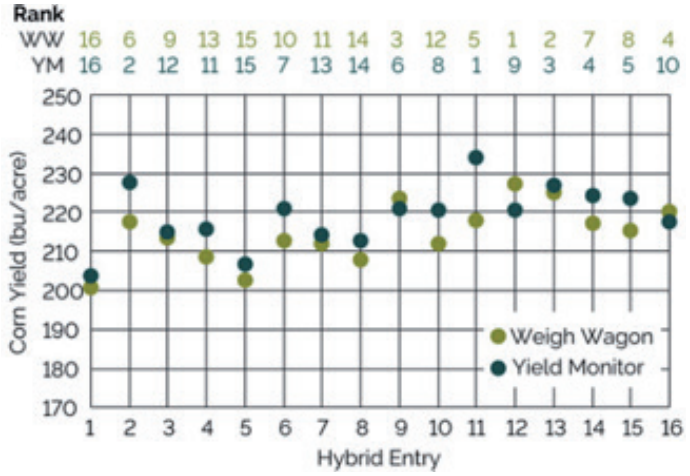

Figura 5: Ejemplo de una ubicación de prueba en la cual la clasificación de las entradas por el monitor de rendimiento fue altamente precisa pero las estimaciones de rendimiento fueron inexactas. (Error promedio = 8.7%, r = 0.96; ensayo localizado en el noreste de Nebraska, 2013).

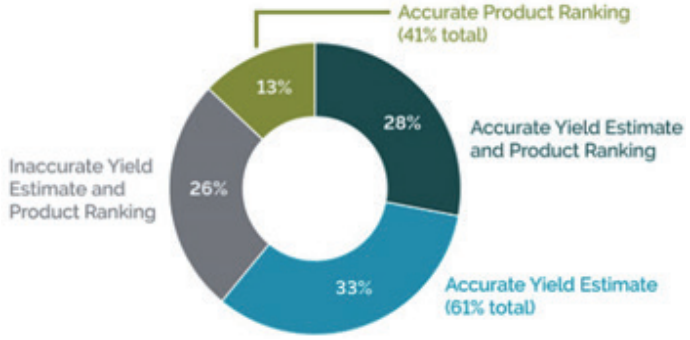

Figura 6: Descripción general de la precisión de los datos del monitor de rendimiento en los ensayos Pioneer en la granja, 2013-2016.

Factores que influyen en las medidas de rendimiento de la cosechadora

Con el fin de evaluar los factores que afectan a la precisión de las medidas de rendimiento de la cosechadora, se llevó a cabo un análisis en el subconjunto de ensayos con un error aceptable (3%).El motivo de excluir los datos con un error superior al 3%, fue que probablemente reflejaban una falta de calibración adecuada del monitor de rendimiento. De este modo se limitaba los errores por mala calibración como una fuente de error. Este subconjunto de ubicaciones (en lo sucesivo, el "subconjunto calibrado") incluyó 170 de las 286 ubicaciones totales (59%).

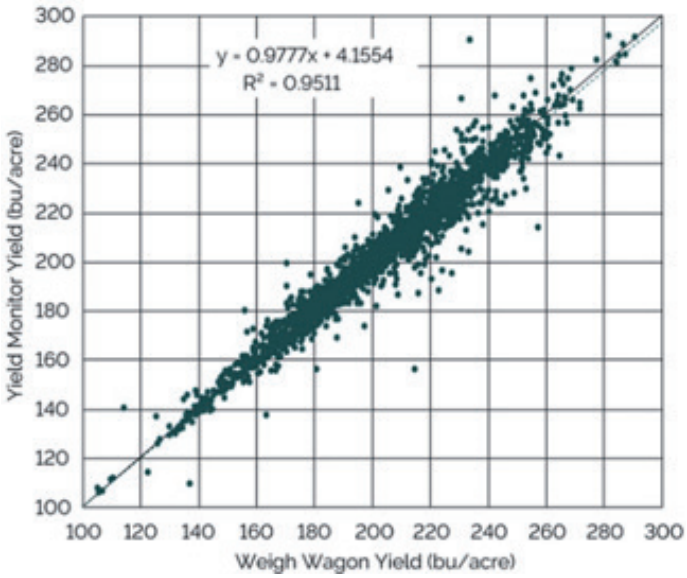

Figura 7: Relación entre el rendimiento resultado de la pesada con la vagoneta y del estimado por la cosechadora, en 2.346 parcelas/bandas en 170 lugares donde la tasa de error promedio era inferior al 3%, 2013-2016.

Una regresión lineal de las estimaciones de rendimiento de la cosechadora frente a las mediciones del peso con la vagoneta para el subconjunto calibrado produjo un R2 de 0.9511 (Figura 7), una mejora sustancial con respecto al R2 de 0.8453 para el conjunto de datos completo. Sin embargo, un 21% de las entradas individuales (rendimientos individuales de una parcela/banda), tenían tasas de error superiores al 3%. En cuanto a la mejora en la clasificación de variedades con los datos de la cosechadora, ésta solo se mejoró ligeramente con el subconjunto calibrado. De las 92 ubicaciones con un número de variedades entre 12 y 20, el coeficiente de correlación era de 0,83, con el 46% de las ubicaciones dentro del umbral del 3% de una clasificación "precisa" (r> 0,93). El monitor de rendimiento identificó la variedad con mayor rendimiento en el 57% de las ubicaciones. La falta de mejora en la precisión de clasificación de las variedades con los datos de la cosechadora sugiere que; 1) sigue habiendo un error en el conjunto de datos atribuible a una mala calibración, 2) hay otras fuentes de error que influyen en las estimaciones de rendimiento, o 3) alguna combinación de los dos.

El tamaño de la carga

Investigaciones previas, incluido el estudio previo de Pioneer de 1996, han identificado un mayor error en el monitoreo del rendimiento con cosechadora en ensayos con franjas de menor longitud y, en consecuencia, con cargas relativamente más reducidas.

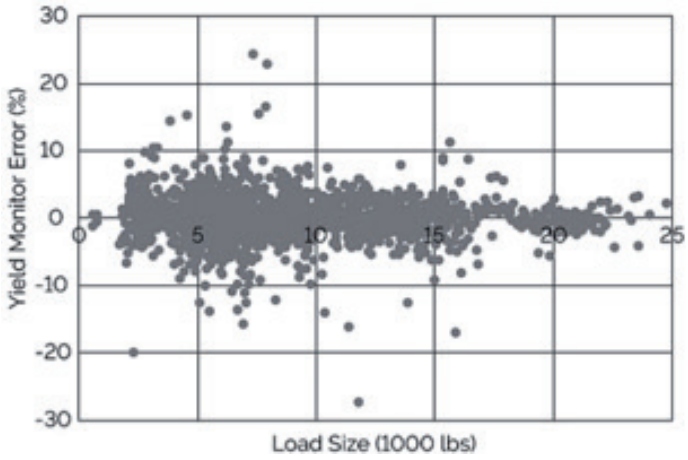

Figura 8: Error de la estimación del rendimiento con la cosechadora (% del error, diferencia entre estimación de la cosechadora con la pesada de la vagoneta) según el tamaño de la carga (en miles de libras, 1 libra equivale a 0.45 kg).

Para la mayoría de las entradas en el subconjunto calibrado del estudio actual, el tamaño de carga varió de alrededor de 2,000 a 22.000 libras (900 a 10.000 kg). Los resultados muestran una evidente reducción de la tasa de error con un mayor tamaño de la carga, aunque con tamaños de carga superiores a 10.000 libras (4500 kg) aún se observaron errores superiores al 3% (Figura 8).

Humedad del grano

Una de las fuentes más comunes de error del monitor de la cosechadora en maíz, son las características del grano (humedad, peso específico) que difieren sustancialmente del grano cosechado en la calibración. En la práctica, esto ocurre con mayor frecuencia cuando el monitor de rendimiento se calibra al comienzo de la cosecha, con el grano relativamente húmedo, y no se realiza una calibración para cosechas más tardías que, en el caso de Estados Unidos, suele llevarse a cabo con el grano más seco. En el caso de los datos de ensayos en bandas, no suelen incluir híbridos con una amplia gama de humedad de grano, por lo que tiene una importancia relativamente reducida en la determinación de rendimientos. Sin embargo, en el caso de ensayos que sí que incluían un amplio rango de ciclos (madurez relativa comparativa, CRM) y humedad de cosecha, las diferencias de humedad del grano entre variedades, puede conducir a errores en la clasificación de rendimientos de las variedades. La figura 9 muestra el error en la determinación del rendimiento en relación a la humedad del grano.

En esta prueba, la estimación del monitor de rendimiento fue muy precisa para el híbrido más húmedo, pero la tasa de error aumentó a medida que disminuyó la humedad del grano. El híbrido más seco fue 9 puntos más seco que el más húmedo, y el error del monitor de rendimiento de la cosechadora para este híbrido superó el 12%. Los expertos recomiendan la recalibración cuando la humedad del grano cambia en más de 4 puntos.

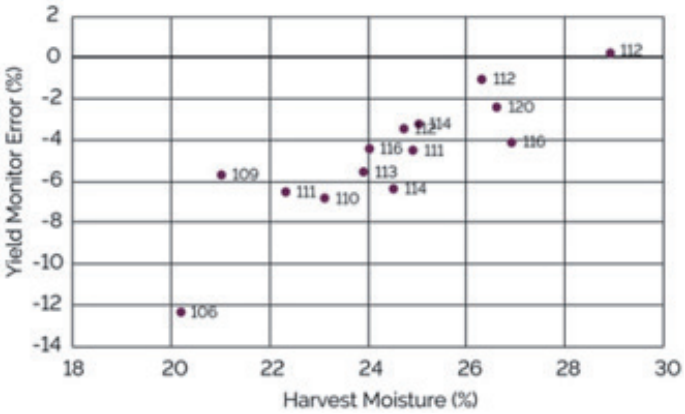

Figura 9: Error del monitor de rendimiento de la cosechadora debido a diferencias en humedad del grano en un ensayo en bandas en Indiana en 2015. Las etiquetas de los puntos indican el ciclo, como CRM.

Variedad

Los resultados de este estudio no proporcionaron evidencia de una mayor tasa de error asociado a una variedad específica. El subconjunto calibrado de ubicaciones incluyó 26 variedades de la marca Pioneer® cosechadas en 30 o más lugares. No hubo ninguna variedad que consistentemente mostrara valores más altos o bajos en la estimación de los monitores de rendimiento de la cosechadora. Para todas las variedades, la tasa de error promedio en todas las ubicaciones fue de un 1% arriba o abajo (Figura 10).

Figura 10: Tasas de error promedio del monitor de rendimiento asociadas con las variedades de la marca Pioneer® incluidas en 30 o más ensayos en bandas.

Implicaciones para la precisión a escala de campo

Los resultados de este análisis demuestran que los monitores de rendimiento de las cosechadoras tienen la capacidad de proporcionar datos de rendimiento precisos en ensayos en bandas pero, en realidad, las estimaciones de rendimiento y las comparaciones de variedades a partir de los datos de la cosechadora son inexactas a nivel de ubicación debido a diferentes fuentes de error. Sin embargo, la utilidad primaria de los monitores de rendimiento es, y siempre ha sido, la evaluación de la variabilidad espacial en el rendimiento relativo en la escala de campo. ¿Qué ideas proporciona este estudio con respecto a la precisión del monitor de rendimiento a escala de campo?

El área cosechada total de las ubicaciones (ensayos) en este estudio varió entre menos de media hectárea (1 acre) a más de 10 hectáreas (25 acres). Las ubicaciones con el mayor error promedio del monitor de rendimiento (> 10%) tienden a ser de menos de 4 hectáreas (10 acres, Figura 11). Sin embargo, las tasas de error superiores al 3% siguen siendo comunes para los ensayos de mayor superficie, ocurriendo en el 38% de las ubicaciones.

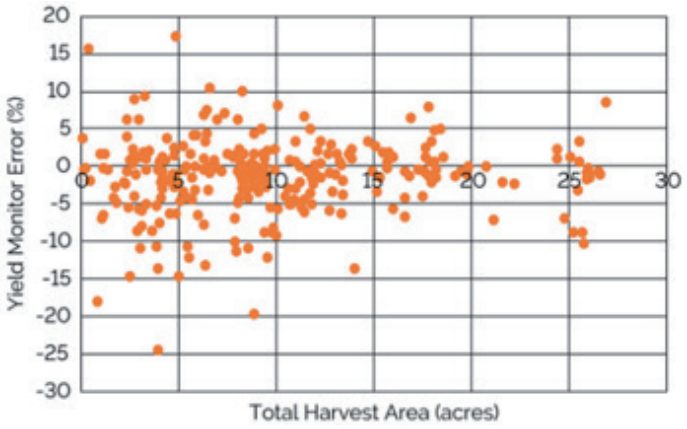

Figura 11: Tasa de error promedio del monitor de rendimiento de la cose-chadora y área cosechada total del ensayo en acres.

Los resultados de este estudio sugieren que más de un tercio de los datos de rendimiento de la cosechadora a escala de campo, son probablemente inexactos (tasa de error> 3%). Esto tiene implicaciones importantes para las decisiones de manejo basadas en los datos del monitor de rendimiento, tanto a nivel de finca como más allá. A medida que la recopilación y transferencia de datos permita la agregación de los datos de rendimiento en conjuntos de datos más amplios, el hecho de que una parte de los datos sean inexactos, socava la fiabilidad de los análisis y resúmenes basados en estos datos. Una práctica que permite mejorar la calidad de los datos consiste en ajustar las estimaciones del monitor de rendimiento y producción de la cosechadora con la producción total del campo. Sin embargo, este método aplica una corrección uniforme en todo el campo, que puede no reflejar la variación espacial del rendimiento en el campo. A medida que la industria se vuelve cada vez más dependiente de los datos del monitor de rendimiento para obtener información sobre el rendimiento y las decisiones de manejo y gestión, existe más interés en mejorar estos sistemas para optimizar la calidad de su funcionamiento, y la calidad de los datos.

Prácticas para mejorar la precisión del motor de rendimiento

Las siguientes pautas, adaptadas de Yield Monitor Systems (Darr, 2016), puede ayudar a maximizar la precisión del monitor de rendimiento de la cosechadora.

Sensor de flujo de masa

El sensor de flujo de masa debe calibrarse para garantizar datos de rendimiento precisos. En general, el sensor de flujo de masas debe ser recalibrado cada vez que haya un cambio significativo en las condiciones del cultivo. Estas incluyen las siguientes condiciones:

- Después de un período largo de inactividad, por ejemplo, al comienzo de una temporada nueva.
- Cambio de cultivo.
- Cambios significativos en la humedad del grano (más del 4%).
- Cambios significativos del peso específico.
- Cambios en las condiciones de cultivo que causan un cambio en las velocidades normales de la operación, por ejemplo, el encamado del cultivo, alta humedad del cultivo, cambios significativos en las condiciones del suelo.

Procedimiento de calibración del sensor de flujo

El procedimiento de calibración cambia según el fabricante, pero varias recomendaciones generales para todas las marcas:

- Calibre por al menos la cantidad mínima de cargas recomendadas por el fabricante del monitor de rendimiento.
- Cada carga de calibración debe ser de al menos 1.400 kg (3.000 libras); o a ser posible más de 2.200 kg (5.000 libras).
- La carga de calibración debe tomarse como pasada única (excluyendo cambios de sentido) para evitar errores asociados con el retraso del flujo de grano.
- Cada carga de calibración debe llevarse a cabo con un caudal de masa diferente. Esto puede controlarse disminuyendo la velocidad de la cosechadora, o manteniendo una velocidad constante y reduciendo el ancho del cabezal activo (es decir reduciendo el número de líneos cosechados).

- El caudal de la calibración debe cubrir todo el rango de caudales que se espera en el cultivo objetivo.

- Después de la calibración, se puede utilizar cargas o zonas para controlar la precisión de la calibración.

Sensor de humedad

El sensor de humedad debe recalibrarse periódicamente o cuando exista un cambio significativo en las condiciones del cultivo.

Procedimiento de calibración del sensor de humedad:

Los procedimientos de calibración varían según el fabricante, pero varias recomendaciones generales se ajustan a todas las marcas:

- Comience una nueva carga de la cosechadora. Esto creará un nuevo registro que se puede usar para calibrar la humedad del grano.

- Coseche un tanque de grano entero de grano.

- Detenga la cosechadora y muestree aleatoriamente el tanque de granos en varias ubicaciones.

- Tome nota de la humedad estimada por el monitor de rendimiento.

- Calcule el contenido de humedad real de la muestra del tanque de grano usando un medidor de humedad. Los medidores de humedad de mano generalmente no son lo suficientemente precisos para esta medición a menos que se haya calibrado contra un medidor de mayor precisión, como es el caso de los medidores que utiliza el equipo de asesores agronómicos de Pioneer. Para reducir los errores, registre tres lecturas de humedad por separado de una misma muestra de grano y utilice el promedio como la humedad real.

- Introduzca la diferencia entre la humedad real y la humedad del monitor de rendimiento como corrección de la humedad.

La calibración de temperatura requiere una corrección similar. Asegúrese de calibrar la temperatura cuando la cosechadora no está funcionando y haya estado en un ambiente sombreado durante un par de horas.

Prácticas óptimas para ensayos en bandas

Si bien los monitores de rendimiento pueden ser herramientas excelentes para la evaluación a nivel de parcela o explotación, se debe tener cuidado al usar esta herramienta para comparaciones a menor escala, como por ejemplo en ensayos en bandas. En ensayos en banda siempre utilizamos vagonetas o remolques autopesantes para una lograr la precisión necesaria. **Si de manera adicional, se quiere tener en cuenta la información de los sistemas de monitoreo de la cosechadora en ensayos en banda se recomienda:**

- Velocidad de cosecha normal. Las parcelas de los ensayos suelen ser filas más cortas, lo que puede hacer que la operación se haga más lentos. El sensor de flujo de masa está calibrado para un flujo de cultivo normal, por lo que, para mantener la precisión, la cosecha de las parcelas debería realizarse en las mismas condiciones que se hizo la calibración.

- Arrancar con ánimo. Para que la cosechadora alcance un flujo de grano constante lo más rápido posible, asegúrese de que la cosechadora se mueva a una velocidad normal cuando se acople por primera vez al cultivo. Esto se conoce como un inicio rotativo.

- Atención a las diferencias significativas de humedad. Si existe diferencia de humedad del grano entre las parcelas (más de 5% de diferencia), se recomienda recolectar manualmente muestras de las parcelas para verifi car el conte-nido de humedad. Por cada error del 1% en la determina-ción de la humedad del grano, el cálculo del rendimiento se verá afectado en 160 kg/ha (2.5 bushel por acre).

- Evita cambios en el terreno. Si el campo de la parcela de prueba tiene un terreno ondulado, se recomienda cosechar todas las parcelas en la misma dirección, para reducir el impacto de la pendiente del campo en los errores de la estimación de rendimiento por la cosechadora.

- Mantenga un ancho de corte preciso. Asegúrese de mantener un ancho de corte uniforme en toda la parcela, y en cada una de las parcelas.

Referencias y links recomendados:

Darr, M. 2016. Yield Monitor Systems. Iowa State Univ. https://www.pioneer.com/CMRoot/pioneer/us/agronomy/ympocketguide.pdf

Doerge, T. 1997. Weigh Wagon vs. Yield Monitor Comparison. DuPont Pioneer Crop Insights 7:17.

Luck, B.D. 2017. Calibrate your yield monitor for greater accuracy during harvest. Univ. of Wisconsin Extension A4146. https://learningstore.uwex.edu/Assets/pdfs/A4146.pdf

Nelson, B.P., R.W. Elmore, and A.W. Lenssen. 2015. Comparing yield monitors with weigh wagons for on-farm corn hybrid evaluation. Crop, Forage, and Turfgrass Management.

Nielsen, R.L. 2017. Yield Monitor Calibration: Garbage In, Garbage Out. Purdue Univ. Agronomy Extension. https://www.agry.purdue.edu/ext/corn/news/timeless/yldmoncalibr.html

Peterson, T.A. 1996. 1996 Guidelines for using yield monitors to collect Pioneer strip trial data. DuPont Pioneer Crop Insights 6:17.