



Memoria justificativa proyecto MILLOPRECISO:
agricultura de precisión con maíz forrajero en Galicia



1	INTRODUCCIÓN	3
2	OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
2.1	Objetivo general	5
2.2	Objetivos específicos	5
3	METODOLOGÍA UTILIZADA EN MILLOPRECISO	5
3.1	Zona de trabajo	5
3.2	Sensores y equipos	6
3.3	Software utilizado	7
3.4	Limpieza de archivos y mapas de zonas de manejo	8
3.5	Método de interpolación y tamaño de cuadrícula	8
4	RESULTADOS OBTENIDOS	9
4.1	Comportamiento de los equipos instalados en las cosechadoras	9
4.2	Descarga de los archivos del Centro de Operaciones	9
4.3	Limpieza de los archivos de datos de rendimiento	10
4.4	Elaboración de los mapas con zonas de manejo	13
4.5	Elaboración de los mapas de prescripción	14
5	PLAN DE DIVULGACIÓN REALIZADO	15
5.1	Diseño del logo del proyecto y del manual de identidad corporativa.	15
5.2	Material promocional	16
5.2.1	Diseño y elaboración de trípticos e Infografías	16
5.2.1.1	Trípticos:	16
5.2.1.2	Infografías.	19
5.2.2	Diseño y elaboración de carteles y roll-up A3.	23
5.3	Elaboración de audiovisuales.	24
5.4	Publicaciones de noticias y contenidos en las webs de los miembros	26
5.5	Creación de Redes Sociales propias y publicaciones en RRSS propias y de los miembros (LinkedIn, Twitter, Facebook, YouTube):	31
5.6	Publicaciones en medios generalistas: notas de prensa, artículos y entrevistas.	33



5.7	Publicaciones en medios especializados. Artículos divulgativos y/o técnicos	37
5.8	Eventos externos: presentación del proyecto en eventos/ferias/jornadas	40
5.9	Eventos propios.....	48
5.9.1	Webinar presentación del proyecto MILLOPRECISO: agricultura de precisión con maíz forrajero en Galicia.	48
5.9.2	Evento Final Presentación de resultados y conclusiones proyecto MILLOPRECISO: agricultura de precisión con maíz forrajero en Galicia.	48
6	CONCLUSIONES	49
7	AGRADECIMIENTOS	50
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

1 Introducción

La evolución de la agricultura de precisión desde los años 90 del siglo pasado a la actualidad ha provocado que fueran apareciendo en el mercado una serie de tecnologías diversas que luego han tenido una adopción desigual a nivel práctico. Hay tecnologías cuyo uso ha demostrado claramente un beneficio económico y medioambiental en la práctica y que están cada vez más implantadas en las explotaciones agrícolas y ganaderas. Es el caso por ejemplo de los sistemas de autoguiado y de asistencia al guiado en los tractores agrícolas, o el control automático de secciones (corte de tramos) en sembradoras y pulverizadores hidráulicos (Luck, 2015).

Otras sin embargo plantean dudas sobre el retorno de la inversión que suponen, dado que no está claro que el usuario final esté dispuesto a pagar un poco más por los servicios de las máquinas que equipan estas tecnologías. Entre ellas está la elaboración de mapas de rendimiento por las cosechadoras autopropulsadas de forraje para después utilizar su información con el fin de optimizar la aplicación de semillas, fertilizantes o productos fitosanitarios. Es por ello por lo que su utilización práctica sigue siendo muy limitada en la actualidad en cultivos extensivos como el maíz forrajero. En Francia en el año 2018 el 50% de los agricultores utilizaban un sistema de guiado por satélite en la maquinaria agrícola pero menos del 10% realizaban algún tipo de aplicación a dosis variable (Schubnel, 2020).

La tecnología para la medición de la producción recogida en tiempo real en las cosechadoras autopropulsadas de forraje ya está disponible comercialmente. Pero la introducción de los monitores de rendimiento para cultivos forrajeros ha sido lenta, debido al coste del equipo y a la falta de confianza tanto en su funcionamiento como en el retorno de la inversión (Digman y Shinnars, 2012).

En los últimos cinco años las cosechadoras autopropulsadas de forraje de nueva adquisición han comenzado a disponer de sensores (ver Figura 1) que miden la producción de forraje y su contenido en humedad, con lo que georreferenciando estos datos con las posiciones calculadas por un receptor GNSS situado encima de la cabina, permiten obtener mapas de rendimiento. Diversos sensores para la medida del rendimiento en las cosechadoras de forraje fueron probados entre finales de los años 90 y principios de los 2000. Finalmente, la solución adoptada por todos los modelos comerciales de picadoras de forraje fue el sistema de medida del desplazamiento en los rodillos de alimentación.



Figura 1. Sensores necesarios para obtener mapas de rendimiento en cosechadoras autopropulsadas de forraje

Para la medida del contenido de humedad se utilizan dos tipos de sensores, los de tipo capacitivo y los que se basan en espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano



(NIR). Estos últimos tienen un coste mucho mayor y también pueden determinar otras propiedades cualitativas del forraje (proteína, almidón, azúcar, fibra, cenizas...).

La obtención de la información, por lo tanto, ya es posible en la práctica para cualquier ganadero que cultive maíz forrajero si puede contratar el servicio de una cosechadora que disponga de la tecnología necesaria. Sin embargo, lo que ya plantea más interrogantes es el procesado de la información obtenida, dado que los datos en bruto adquiridos por un monitor de rendimiento no pueden ser usados directamente. Estos datos necesitan ser limpiados antes de su análisis para eliminar los errores sistemáticos y aleatorios que aparecen durante el trabajo de las cosechadoras (Cho et al., 2021).

En la actualidad existe una necesidad de asesoramiento técnico a agricultores, ganaderos, empresas de servicios y concesionarios de maquinaria para poder obtener mapas de rendimiento fiables que puedan ser utilizados posteriormente para la realización de aplicaciones a dosis variable (ADV) de semilla o fertilizante. La principal cuestión que se les plantea a los productores de forraje es qué información y qué mapa debo utilizar para guiar esas aplicaciones (Lund, 2014).

Con el proyecto propuesto se ha desarrollado un procedimiento de elaboración de mapas de rendimiento que depura los errores que aparecen en los datos en bruto registrados por las cosechadoras autopropulsadas de forraje. Con el adecuado tratamiento de la información se puede generar un mayor valor añadido al utilizar los mapas de rendimiento para optimizar las dosis de siembra y de fertilizantes en el cultivo del maíz forrajero en Galicia. Esta optimización permitirá conseguir un incremento en el rendimiento de los cultivos gracias a poder realizar una mejor gestión de los recursos. Se estima que los incrementos de producción medios que se pueden conseguir con la adopción de las técnicas de la agricultura de precisión andan en torno al 10% (AEM, 2021).

Para lograr los beneficios que puede conseguir la agricultura de precisión, a partir de los mapas de rendimiento limpios hay que analizar la variabilidad espacial de las parcelas y, si existe, elaborar mapas con zonas de manejo diferenciadas. Las zonas de manejo son áreas en parcelas agrícolas con diferente potencial productivo para los cultivos, lo cual sirve para guiar las posibles intervenciones de los agricultores para aumentar el rendimiento u optimizar el uso de recursos como semillas y fertilizantes. El proyecto MilloPreciso también elaboró un protocolo para delinear zonas de manejo diferenciadas en una parcela a partir de mapas de rendimiento limpios. Con los mapas de zonas de manejo de una parcela elaborados durante varias campañas, se puede analizar también la variabilidad temporal para tener en cuenta la influencia de, por ejemplo, factores climáticos sobre la repetibilidad de la localización de estas zonas de manejo a lo largo de los años. Se recomienda tener datos de un mínimo de tres campañas antes de tomar decisiones sobre estos mapas medios multi-anales de zonas de manejo (Marcaida, 2022).

A partir de la observación de una repetición de las zonas de manejo en las mismas zonas de la parcela a lo largo de varias campañas, podemos realizar técnicas de aplicación a dosis variable (ADV) de semilla o fertilizantes. Para ello es necesario elaborar mapas de prescripción a partir del mapa de zonas de manejo, asignando una dosis diferente a cada una de las áreas. Con la realización de técnicas de ADV podremos comenzar a obtener los beneficios de la agricultura de precisión, consiguiendo producciones similares o superiores con un ahorro de insumos. Con los mapas de zonas de manejo elaborados siguiendo el protocolo desarrollado en el proyecto MilloPreciso, tenemos el recurso que nos permitirá dar el paso hacia el uso de prescripciones y tecnologías de ADV en el cultivo de maíz forrajero.

2 Objetivos del proyecto

2.1 Objetivo general

Poner a disposición de ganaderos y agricultores un nuevo procedimiento fiable para la toma de decisiones en el cultivo de maíz forrajero, utilizando los mapas de rendimiento del cultivo para mejorar la sostenibilidad ambiental y económica de las explotaciones de vacuno de leche.

2.2 Objetivos específicos

- Elaboración de mapas de rendimiento de las fincas mejorados, depurando la información en bruto recogida por las cosechadoras. Para ello se eliminarán los errores sistemáticos y aleatorios que se detecten y se establecerá un protocolo para realizar este procesamiento de la información.
- Introducir en Galicia la tecnología requerida para poder documentar de forma georreferenciada la producción de maíz forrajero de una parcela en tiempo real. Comprobar su correcto funcionamiento y formar a los operarios para su utilización en las parcelas de los ganaderos.
- Utilizar la información de los mapas de rendimiento obtenidos por las cosechadoras para optimizar las operaciones de siembra y fertilización de las parcelas de maíz forrajero mediante el establecimiento de un protocolo para elaborar los mapas con zonas de manejo.

3 Metodología utilizada en MilloPreciso

3.1 Zona de trabajo

Los datos utilizados fueron recogidos por la empresa de servicios de maquinaria agrícola Marcos Otero S.L., que realiza operaciones mecanizadas en zonas ganaderas de las provincias de Lugo y A Coruña. Entre los trabajos que realiza destaca la recolección de forraje, para lo cual cuenta en su parque con dos cosechadoras autopropulsadas de forraje modelos Jaguar 970 y 980 de la casa comercial Claas. También utiliza una flota de 8 tractores de la marca John Deere equipados con monitores que documentan las operaciones en archivos que son subidos posteriormente a la aplicación en la nube denominada Centro de Operaciones John Deere (COJD). La empresa cosechó anualmente con estas dos máquinas 1.065,94 ha de maíz forrajero en la campaña de 2023 y 697,5 ha en la de 2024, repartidas en un elevado número de parcelas de reducida superficie.

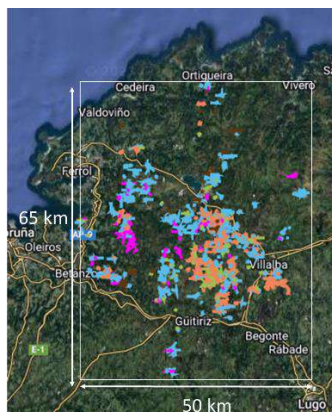


Figura 2. Zona de trabajo de la empresa Marcos Otero S.L.

3.2 Sensores y equipos

Para la medida de la producción cosechada y el contenido de humedad del forraje se activó el sensor que mide el desplazamiento entre los rodillos de alimentación (que ya viene montado de serie en las picadoras) y se instaló el sensor capacitivo de medida del contenido de humedad en el tubo de descarga (ver Figura 3). Para la adquisición de los datos de producción, las cosechadoras de forraje se equiparon en sus cabinas con monitores John Deere modelo 4640 que por medio de un puente de la casa comercial Agra-GPS se conectaron con el Can-Bus de la máquina Claas y obtuvieron los archivos de rendimiento en formato jdl (John Deere Link) para poder ser subidos al COJD. La frecuencia con la que se obtuvo la información fue de 1 Hz (1 dato por segundo). Los datos se descargaron telemáticamente por medio de un modem directamente a la nube del COJD. Para la georreferenciación de los datos, las cosechadoras se equiparon con receptores GNSS John Deere Starfire 7000 conectados a los monitores.

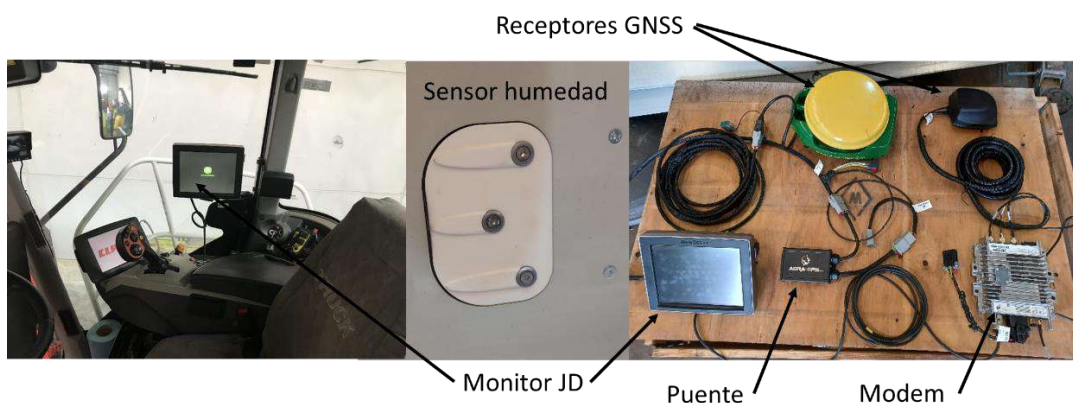


Figura 3. Sensores y equipos adicionales instalados en las cosechadoras autopropulsadas
Izquierda: monitor JD 4640 en la cabina de la cosechadora. Centro: sensor de humedad del forraje en el tubo de descarga. Derecha: equipos instalados en cabina para la adquisición, georreferenciación y transmisión de los datos.

La calibración de los sensores y equipos utilizados fue realizada en las parcelas de la explotación Ganadería Ladrela en las campañas de 2023 y 2024. Para ello se utilizaron los campos en los que se realizó la cosecha de maíz forrajero en cada campaña. Cada uno de los tractores con su correspondiente remolque, fue pesado antes de descargar en el silo mediante una plataforma de pesaje móvil montada en sus proximidades. Además de cada parcela se tomaba una muestra para determinar el contenido de materia seca del cultivo utilizando un horno microondas en el mismo día de la recolección. A mayores se tomaron 10 muestras por parcela para secado en estufa en el laboratorio de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería. Con el microondas se realizaron sucesivos ciclos de secado de 2 a 3 minutos de duración a una potencia de 750 W hasta alcanzar un peso constante en una muestra de 100 gramos de maíz forrajero picado por las cosechadoras (CUMA, 2019). En la estufa se dejaron secar las muestras de 100 g durante 48 h a 80 °C. En el Anexo I se detallan los datos recopilados en las parcelas de Ganadería Ladrela en las campañas 2023 y 2024.



Figura 4. Equipo de calibrado de medida de producción y materia seca en cosechadoras de forraje

3.3 Software utilizado

Para la descarga de los archivos con los datos recogidos por tractores y cosechadoras desde el COJD se utilizó la plataforma AgFiniti (Ag Leader Technology, Ames, IA, USA) de la casa comercial Ag Leader. Esta aplicación en la nube permite su sincronización con el COJD y copiar automáticamente los archivos que la empresa vaya subiendo al mismo sin provocar interrupciones. Posteriormente los datos brutos de rendimiento de cada parcela y campaña fueron importados en el software SMS (Spatial Management System) Advanced, también de la casa comercial Ag Leader. Con el SMS Advanced se realizó una primera edición de los archivos consistente en ordenar correctamente las parcelas por clientes, granjas, campos y años, así como revisar sus límites, separar parcelas que aparecían juntas en un mismo archivo, juntar trozos de parcela que aparecían separados en distintos archivos y eliminar los datos con una humedad inferior al 46% (Kharel *et al.*, 2018). Tras ello los archivos fueron exportados en formato texto de Ag Leader Advanced (ALA.txt) para ser limpiados con el software Yield Editor 2.07 (Sudduth *et al.*, 2012), que posee una serie de filtros y herramientas para depurar los errores típicos que aparecen en los mapas de rendimiento.

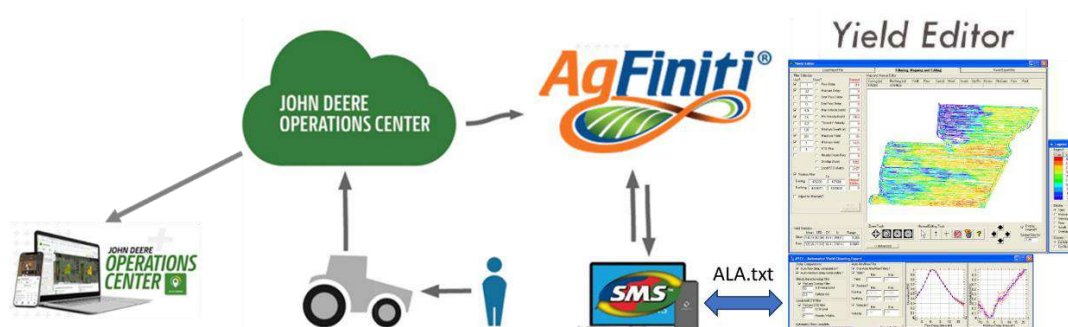


Figura 5. Software utilizado para la adquisición, procesado y limpieza de los archivos con datos obtenidos por los tractores y cosechadoras

El software utilizado en el proyecto fue instalado en los equipos informáticos del Centro de Operaciones MilloPreciso ubicado en el Laboratorio de Mecanización de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de la USC (Campus Terra – Lugo).

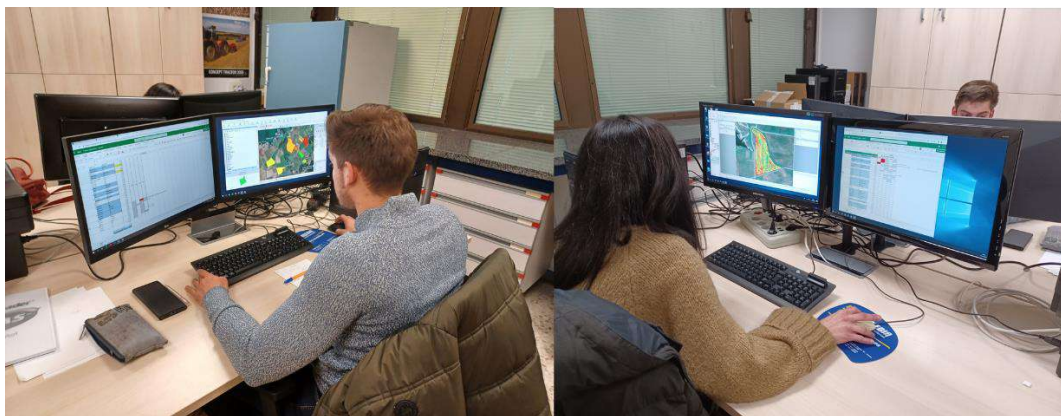


Figura 6. Centro de Operaciones MilloPreciso en el Campus Terra de la USC

3.4 Limpieza de archivos y mapas de zonas de manejo

La limpieza automática que ofrece la versión 2.07 de Yield Editor denominada AYCE (Automated Yield Cleaning Expert), se tomó como referencia para el desarrollo de procedimientos alternativos que simplifiquen este trabajo a realizar por las empresas de servicios. Se utilizó una muestra de 56 campos para comparar la limpieza automática AYCE de Yield Editor con el protocolo de limpieza MilloPreciso (MP) que sólo utiliza dos filtros: elimina los datos con un contenido de humedad inferior al 46% y, posteriormente, los que se desvían en ± 1 desviación típica de la media.

Una vez eliminados los puntos con errores de los archivos de datos en bruto (proceso de limpieza), procedemos a elaborar los mapas con las zonas de manejo. Para ello, partiendo de la producción media de la parcela en cada campaña, se delinearon tres zonas de manejo considerando las zonas con una producción superior a un 10% respecto a la media como zonas de alta producción y las zonas con una producción inferior a un 10% respecto a la media como zonas de baja producción (Pionner, 2012). La zona de producción media comprende los valores que se encuentran en el intervalo de $\pm 10\%$ respecto a la media.

3.5 Método de interpolación y tamaño de cuadrícula

Para la elaboración de los mapas de zonas de manejo el software SMS Advanced realiza una interpolación para estimar los valores desconocidos en ubicaciones entre puntos de datos conocidos. El método de la distancia inversa ponderada (IDW) fue el utilizado para elaborar los mapas, ya que es el que utiliza SMS Advanced cuando los archivos de datos (datasets) tienen más de 1.000 puntos o están asociados a un ancho de corte (como es nuestro caso, al tratarse de datos de producción). En el método IDW se establece una distancia máxima (Search distance) que en el SMS Advanced por defecto es igual a 1.5 veces la anchura de corte (11.25 m en nuestro caso). Se utiliza para localizar otros puntos cercanos que ayuden a promediar los datos. También se emplea un coeficiente de ponderación de la distancia (Distance ratio) que controla la influencia de los puntos encontrados desde la distancia máxima hasta la ubicación donde se hace la estimación. Se utilizó el valor de 0.6 como coeficiente de ponderación, que es el valor que utiliza por defecto el SMS Advanced en el método IDW. Un menor coeficiente significará más mezcla de valores, mientras que un valor más alto significará que el punto conocido tendrá más influencia más lejos de su localización.

Para pasar de un área que tiene un valor conocido a la próxima con valor conocido, habrá varias cuadrículas que cambiarán sus valores de un área a otra. El cambio en los valores conocidos y el tamaño de las cuadrículas determinará la rapidez con la que los valores cambian de una cuadrícula a otra. Para pequeñas transiciones entre cuadrículas se pueden



emplear pequeños tamaños de cuadrícula. Este efecto provocará transiciones más suaves durante las aplicaciones a dosis variable (ADV). Cuadrículas más grandes provocan cambios más bruscos entre las dosis de zonas distintas. El tamaño por defecto que utiliza SMS Advanced para las cuadrículas con datos de producción asociados a un ancho de corte es la mitad del valor de la anchura de corte (3.75 m en nuestro caso).

4 Resultados obtenidos

4.1 Comportamiento de los equipos instalados en las cosechadoras

Los sensores y equipos instalados en las cosechadoras autopropulsadas de forraje permitieron adquirir los archivos con los datos de rendimiento georreferenciados de una forma satisfactoria. Además, al funcionar correctamente el puente Agra-GPS instalado entre la picadora Claas y el monitor 4640 de John Deere, la información adquirida se cargó correctamente en el Centro de Operaciones. Esta solución facilita la gestión y el análisis posterior de los datos al permitir utilizar una sola plataforma para toda la información, independientemente de que los archivos provengan de los trabajos realizados con los tractores o las cosechadoras. Para el técnico de la empresa de servicios con flota mixta es más cómodo trabajar con una única aplicación informática en lugar de tener que aprender el manejo de dos diferentes que, aunque permitan la exportación de sus archivos de una a otra, complican el aprendizaje y su uso diario.

4.2 Descarga de los archivos del Centro de Operaciones

Una vez que la empresa concede los permisos necesarios para establecer la conexión entre su Centro de Operaciones John Deere (COJD) y la plataforma AgFiniti, comienzan a descargarse de forma automática todos los archivos que se han subido al COJD desde el año que se establezca en la configuración. A partir de ahí, de cada nuevo archivo que la empresa sube al COJD se realiza una copia de forma automática e inmediata en la nube de AgFiniti. Este proceso funcionó de forma satisfactoria y permitió utilizar AgFiniti como una pasarela para descargar los archivos en el software SMS.

La descarga de los archivos de cosecha en el programa SMS Advanced desde AgFiniti también se realizó de una forma satisfactoria, aunque con problemas para ordenar correctamente los datos en el cliente, granja y campo correctos. Esto creemos que fue debido principalmente a carencias de la base de datos original creada por la empresa en el Centro de Operaciones. En campaña, al trabajar con múltiples operarios, se producen errores como documentar la información de una misma parcela con diferentes denominaciones, agrupar parcelas diferentes en un mismo archivo o utilizar nombres de campos y de granjas idénticos para distintos clientes, que después dificultan la correcta identificación de los archivos por parte del software SMS. La organización metódica de la base de datos es un requisito que conviene respetar escrupulosamente para después poder tener la información correctamente ordenada y poder gestionarla adecuadamente para la toma de decisiones. La utilización de un puente para traducir los archivos entre los formatos de las dos casas comerciales también pudo influir en esta incidencia.

Esta colocación incorrecta de algunos archivos obligó a realizar una primera edición de estos en el SMS. Las principales actuaciones consistieron en colocar los datos de cosecha en el cliente y campo correctos, separar parcelas que figuraban juntas en un mismo archivo o unir trozos de una misma parcela que aparecían en archivos diferentes. Solo un 2% de los archivos necesitaron ser descargados manualmente desde el COJD al no ser encontrados en el SMS. Probablemente estos archivos también fuesen correctamente descargados por el procedimiento automático de sincronización de SMS con AgFiniti, pero por los problemas de colocación en un cliente y campo incorrecto, no se haya podido encontrarlos.

4.3 Limpieza de los archivos de datos de rendimiento

Una vez organizados todos los archivos de datos en bruto de cosecha en el programa SMS, se procedió a realizar su limpieza para eliminar los errores tomando como referencia el protocolo de procesamiento y limpieza establecido por Kharel et al. (2018). Para ello se procedió a exportar todos los archivos de datos en el formato Ag Leader Advanced (ALA) de archivo de texto (txt). Este es uno de los dos únicos formatos que admite el software Yield Editor (el otro es Greenstar txt de John Deere), programa utilizado como referencia para aplicar los filtros para eliminar los errores que aparecen en los datos en bruto.

En los archivos en bruto se detectaron errores que generaban valores demasiado altos y bajos que, aunque no afectaban mucho al cálculo de la media de la producción obtenida en la parcela, si tenían una incidencia importante a la hora de delimitar las zonas de manejo de la parcela. Un ejemplo lo podemos ver en la Figura 7, en la que se representan todos los datos de producción en bruto obtenidos en una parcela de maíz forrajero. Como vemos se registran valores desde 0 hasta 380 toneladas de materia seca por hectárea, lo que con un contenido de materia seca medio del 35% se corresponden con producciones en verde desde 0 hasta más de 1.200 toneladas por hectárea.

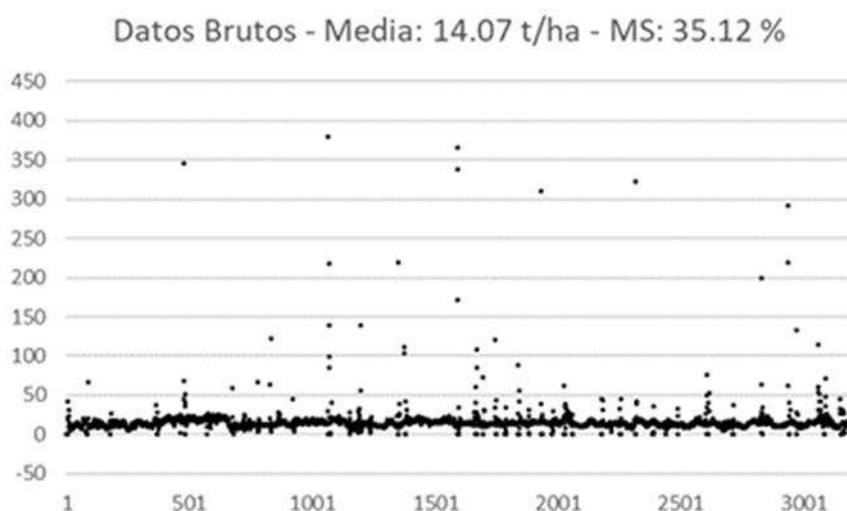


Figura 7. Datos en bruto obtenidos en una parcela de maíz forrajero de 3,5 ha

Al limpiar el archivo con los datos en bruto se aplican una serie de filtros que eliminan estos datos no razonables que se apartan de una forma excesiva de las producciones medias de maíz forrajero. En la Figura 8 podemos ver los datos limpios mediante el procedimiento MilloPreciso (MP) de la misma parcela de la Figura 7 en la que comprobamos que los valores ya pasan a estar comprendidos entre las 2 y las 34 toneladas de materia seca por hectárea, sin que la media de la producción varíe sustancialmente (de 14,07 a 13,92 t MS/ha).

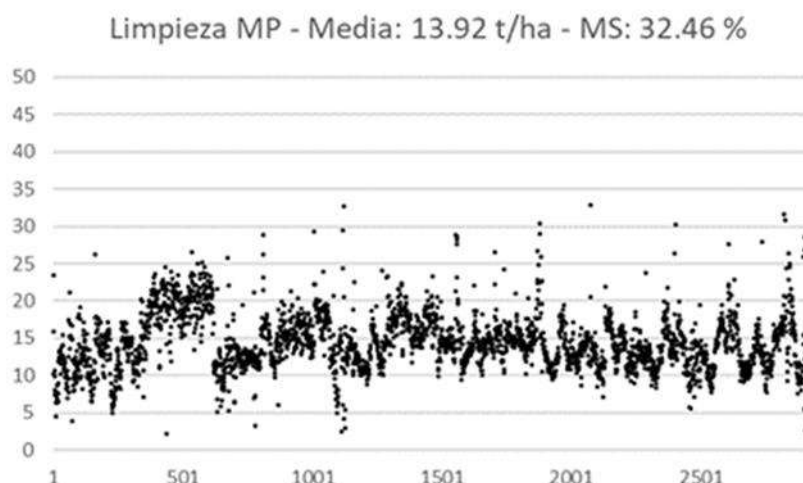


Figura 8. Datos limpios obtenidos en la misma parcela de la figura 7

Si obtenemos un mapa de rendimiento con zonas de manejo diferenciadas en función del potencial productivo, el hacerlo a partir de un archivo de datos en bruto o a partir de un archivo con los datos limpios sí que va a tener consecuencias importantes en el resultado. En la Figura 9 podemos ver un ejemplo de establecer tres zonas de manejo (baja, media y alta producción) en una parcela de 3,75 ha a partir de datos brutos y a partir de datos limpios con limpieza mediante el procedimiento MP. La superficie catalogada como de bajo potencial productivo en la zona sur de la parcela se aprecia que cambia a potencial medio tras el proceso de limpieza. En la zona norte en cambio, se reduce la superficie de alto potencial productivo al eliminarse unos datos anómalos de producciones excesivas. En este ejemplo en primer lugar se han eliminado los datos de producción en verde de maíz forrajero con un contenido de humedad inferior al 46% siguiendo lo aconsejado por el protocolo de Kharel et al. (2018). A continuación, en la limpieza MP se han eliminado los datos con producciones cuyos valores se apartan en ± 1 desviaciones típicas (STD) de la media, con lo que desaparecen valores anómalos con producciones muy altas o bajas.

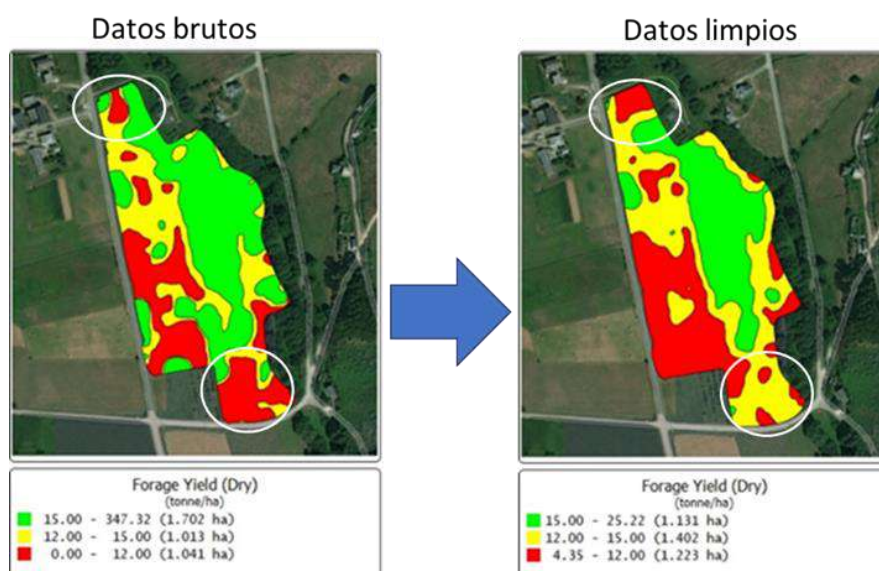


Figura 9. Mapas de rendimiento con tres zonas de manejo elaborados con un archivo sin limpiar (izquierda) y con limpieza MilloPreciso (derecha)

La consecuencia de este filtrado se puede apreciar con claridad en los rangos de las leyendas de las zonas con bajo y alto rendimiento de los dos mapas de la Figura 9,

donde los valores extremos de las producciones en toneladas de materia seca por hectárea desaparecen en el mapa con datos limpios. Como podemos observar, hay diferencias importantes en la delimitación de las zonas de manejo de utilizar los datos en bruto a utilizar los datos después del proceso de limpieza.

Para comparar el procedimiento de limpieza desarrollado con el proyecto MilloPreciso, hemos utilizado como referencia el programa Yield Editor desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. La limpieza automática que ofrece la versión 2.07 de Yield Editor denominada AYCE (Automated Yield Cleaning Expert), utiliza hasta ocho filtros diferentes: humedad < 46%, posición, retraso de medida de la producción, retraso de medida de la humedad, velocidades mínimas y máximas, producciones mínimas y máximas, solapes y ± 3 STD. Como vemos se trata de un procedimiento más completo y complejo. En la Figura 10 podemos ver el resultado de establecer tres zonas de manejo diferenciado en la misma parcela de maíz forrajero de la Figura 9, utilizando el método de limpieza MP y el método de limpieza automática AYCE del software Yield Editor 2.07.

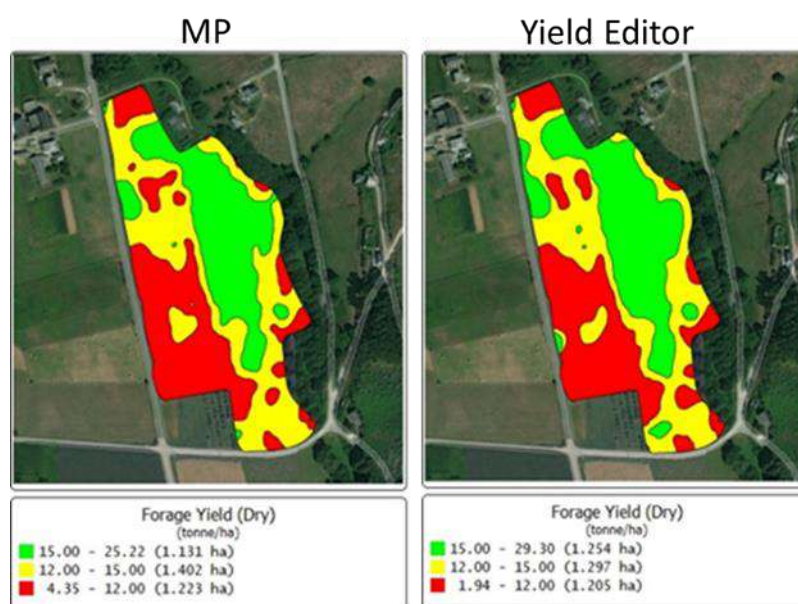


Figura 10. Mapas de rendimiento con tres zonas de manejo elaborados con un archivo con limpieza MP (izquierda) y con limpieza AYCE mediante Yield Editor (derecha)

Como podemos observar en la Figura 10, no hay grandes diferencias entre el procedimiento de limpieza más simple (MilloPreciso) y el más completo (Yield Editor), lo que nos indica que con un procedimiento de limpieza básico ya podemos conseguir grandes mejoras en la fiabilidad de los mapas de rendimiento. Esto facilita la utilización de aplicaciones sencillas como MilloPreciso por parte de las empresas de servicios para la limpieza de sus archivos con datos de rendimiento.

En la Tabla 1 se muestran los resultados del proceso de limpieza sobre los datos brutos de partida de la parcela de 3,75 ha utilizada en las figuras 9 y 10. La combinación de descartar los datos con un contenido de humedad inferior al 46% junto con la limpieza MilloPreciso o automática con el programa Yield Editor eliminó del 23% (MP) al 29% (Yield Editor) de los datos, aumentando el rendimiento medio y disminuyendo el contenido medio de materia seca.

Tabla 1. Procesos de limpieza realizados (MV: materia verde, MS: materia seca)

Archivo	Nº datos	MV t/ha	MS t/ha	MS %	Datos eliminados	% eliminados
Datos brutos	3076	31.62	13.22	45.89	0	0%
Filtro Humedad < 46%	2428	33.95	13.62	40.65	648	21%
Limpieza MilloPreciso	2383	33.88	13.59	40.64	693	23%
Limpieza Yield Editor	2198	34.03	13.64	40.51	878	29%

4.4 Elaboración de los mapas con zonas de manejo

Una vez eliminados los puntos con errores de los archivos de datos en bruto (proceso de limpieza), procedemos a elaborar los mapas de rendimiento que permiten establecer distintas zonas de manejo dentro de las parcelas. Para ello es recomendable disponer de un mínimo de tres campañas con datos de rendimiento de la misma parcela, ya que además de la variabilidad espacial entre las distintas zonas de la parcela, debemos tener en cuenta la posible variabilidad temporal entre las distintas campañas a causa de la influencia de las condiciones climáticas y otros factores (incidencias de plagas y enfermedades, fechas de siembra y recolección, etc.).

En la figura siguiente (Figura 11) podemos observar el ejemplo de una parcela de 5.6 ha en la que se han obtenido mapas de rendimiento con una picadora de forraje durante cuatro campañas consecutivas (2020 a 2023) en otra empresa de servicios diferente a la de Marcos Otero que trabaja en el Principado de Asturias, ya que en el proyecto MilloPreciso sólo hemos obtenido datos de dos campañas (2023 y 2024). Se puede apreciar una consistencia temporal de las zonas de las parcelas en donde se detectan las producciones bajas, las medias y las altas, con lo que podemos obtener un mapa de zonas de manejo que sea el resultado de la media de las cuatro campañas. Este mapa medio nos ofrece una probabilidad bastante elevada de que la identificación de zonas realizada sea correcta al estar basado en cuatro campañas en las que se ha observado una localización bastante similar año tras año de las zonas con distinto potencial productivo.

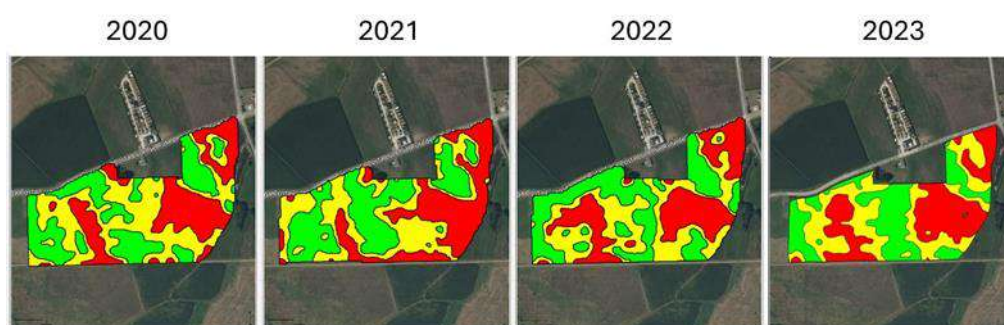


Figura 11. Mapas con zonas de manejo obtenidos durante cuatro campañas consecutivas (2020-2023) en una parcela de 5.6 ha de superficie con el cultivo de maíz forrajero. (Código de colores: rojo-producción baja, amarillo-producción media, verde-producción alta).

Para la obtención de mapas con zonas de manejo el protocolo desarrollado por MilloPreciso se basa en elaborar mapas anuales con tres zonas a partir de los datos limpios de rendimiento. Las zonas se delinean a partir de la media de producción registrada en el año correspondiente, estableciendo las zonas de producción baja con los puntos donde es inferior en un 10% a la de la media y las de producción alta con los puntos donde es superior en un 10% a la de la media. Las zonas de producción media se establecerían por lo tanto con los puntos con una producción comprendida entre ese $\pm 10\%$ sobre la media.

4.5 Elaboración de los mapas de prescripción

Por último, una vez que tenemos delimitadas las zonas de manejo de las parcelas, podemos generar una prescripción para realizar una siembra o un abonado a dosis variable. En la Figura 12 podemos ver un ejemplo de prescripción de siembra variable generada a partir del mapa medio (2020-2023) de zonas obtenido a partir de los mapas de la figura 11. Para la elaboración de esta modulación de la dosis de siembra hay que tener en cuenta tanto el potencial de producción de las distintas zonas de la parcela como el potencial genético de la variedad de maíz utilizada para que tenga una respuesta a la variación de la densidad de siembra. Por las experiencias realizadas en otros países de Europa, en 8 de cada 10 casos se consigue un aumento de la producción con la modulación, lo que se traduce en un aumento de los ingresos obtenidos por hectárea. Esta es la finalidad de la Agricultura de Precisión, una utilización más eficiente de los insumos (en este caso semilla de maíz) gracias a la información que nos proporciona la cosechadora autopropulsada de forraje con sus sensores de medida de la producción. El proyecto GO MilloPreciso no ha llegado a comprobar el resultado sobre las producciones de utilizar las prescripciones elaboradas por el protocolo propuesto. Sin duda, sería de gran interés realizar este trabajo en un nuevo proyecto que continuase con la investigación en la agricultura de precisión en maíz forrajero.

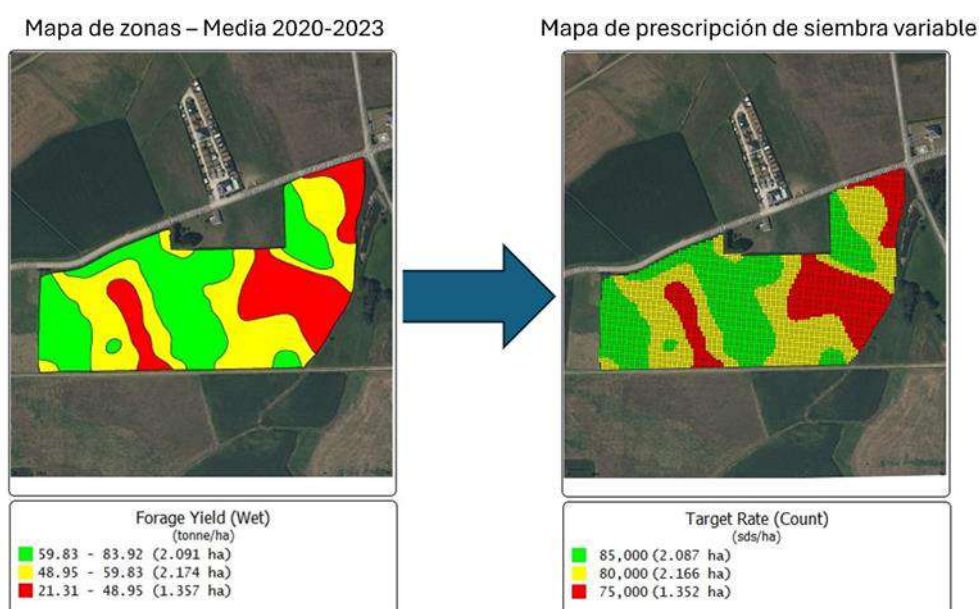


Figura 12. Mapa medio de zonas de manejo (izquierda) y ejemplo de mapa de prescripción de siembra a dosis variable de maíz forrajero (derecha).

Los cuatro pasos propuestos por el proyecto MilloPreciso para convertir los datos brutos de producción obtenidos por las cosechadoras autopropulsadas de forraje en información útil serían, por tanto, los siguientes:

1. Limpieza de los archivos con los datos de rendimiento en bruto
2. Elaboración de mapas anuales con tres zonas de manejo
3. Análisis multi-anual de las zonas de manejo (mínimo tres campañas)
4. Elaboración del mapa de prescripción (siembra, abonado)



5 Plan de divulgación realizado

El plan de divulgación fue coordinado y ejecutado por FEUGA en colaboración con el resto de las entidades participantes en el proyecto.

Se llevaron a cabo las siguientes actividades:

5.1 Diseño del logo del proyecto y del manual de identidad corporativa.

El diseño de este material se realiza en colaboración con todos los integrantes del grupo operativo. El logo del proyecto se empleó en las distintas comunicaciones relacionadas con MILLOPRECISO. Paralelamente al diseño del logo se diseñaron también el banner para las RRSS y un manual de entidad corporativa, que tenía como propósito establecer las normas de uso y aplicación del símbolo y del logotipo que conforman la imagen corporativa de “MILLOPRECISO”. El manual establece pautas de construcción, el uso de las tipografías y colores, así como las recomendaciones que permitan dotar de coherencia a la aplicación de la imagen gráfica tanto en medios digitales como impresos. El manual de identidad corporativa se adjunta como anexo a este informe en el documento “*Anexo Divulgación_Manual identidad corporativa*”.

Se muestra la imagen del logo e imatotipo del proyecto:



También se diseñaron banners para las RRSS del proyecto (Linkedin, Twitter/X, Facebook, Youtube). Se adjunta como anexo a este informe en el documento “*Anexo Divulgación_Banner*”.



Los datos utilizados en el presente trabajo fueron recogidos en dos empresas de servicios de maquinaria agrícola con sede en el noroeste de España

AGRICULTURA DE PRECISIÓN CON MAÍZ FORRAJERO: LIMPIEZA DE MAPAS DE RENDIMIENTO

Javier Bueno Lema

Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería,
Universidad de Santiago de Compostela, Campus Terra, Lugo.

javier.bueno@usc.es

INTRODUCCIÓN

Las cosechadoras autopropulsadas de forraje, conocidas popularmente como picadoras de forraje, se han convertido en las máquinas más utilizadas por las empresas de servicios y cooperativas de utilización de maquinaria agrícola (CUMA) en las campañas de recolección de forraje que tienen lugar en las explotaciones ganaderas del noroeste de España.

En España, la media de unidades nuevas inscritas en el Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA) en los últimos ocho años (2015-2022) ha sido de 22 máquinas anuales, de las que aproximadamente la mitad se inscriben en Galicia (48%). Como vemos en la evolución de las inscripciones de la Figura 1, el número de unidades nuevas inscritas en el ROMA cada año es reducido en comparación con los principales mercados europeos. Por ejemplo, en Alemania se venden anualmente más de 500 unidades nuevas y en Francia más de 300. En la Figura



Figura 1. Inscripciones anuales de picadoras de forraje nuevas en el ROMA.

2 podemos observar la distribución por Comunidad Autónoma de las 179 unidades nuevas de picadoras de forraje inscritas en el ROMA en el período 2015-2022.

En este tipo de máquinas el mercado de unidades de segunda mano es mucho mayor que el de unidades

nuevas. En el año 2022, sobre un total de 98 máquinas inscritas en el ROMA, solo 18 (18,4%) fueron unidades nuevas, siendo el resto (80 unidades) cambios de titularidad o importaciones de máquinas usadas.

En los últimos cinco años las cosechadoras autopropulsadas de forraje de

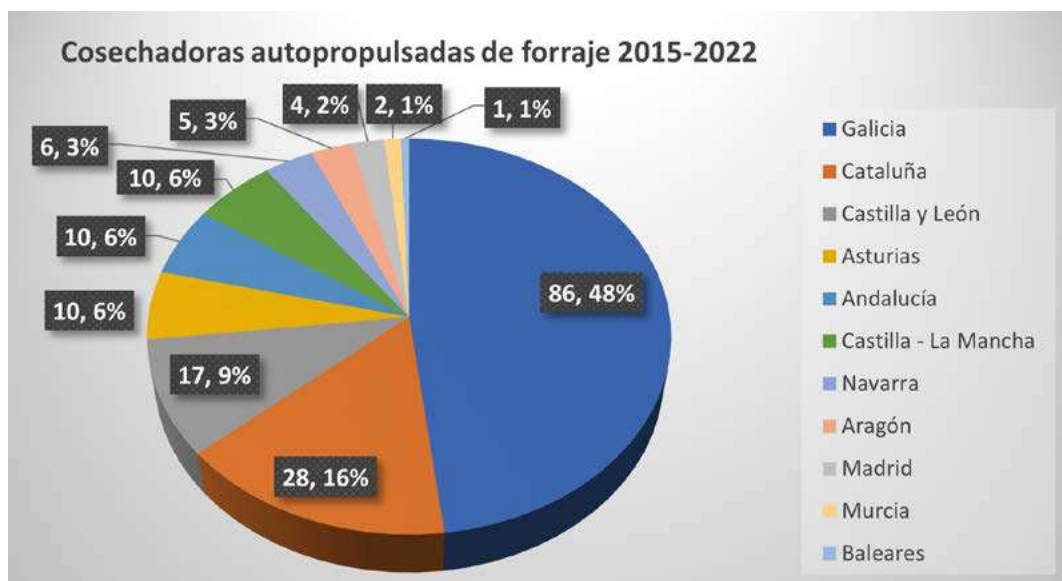


Figura 2. Inscripciones de picadoras de forraje nuevas en el ROMA por Comunidad Autónoma en el período 2015-2022.

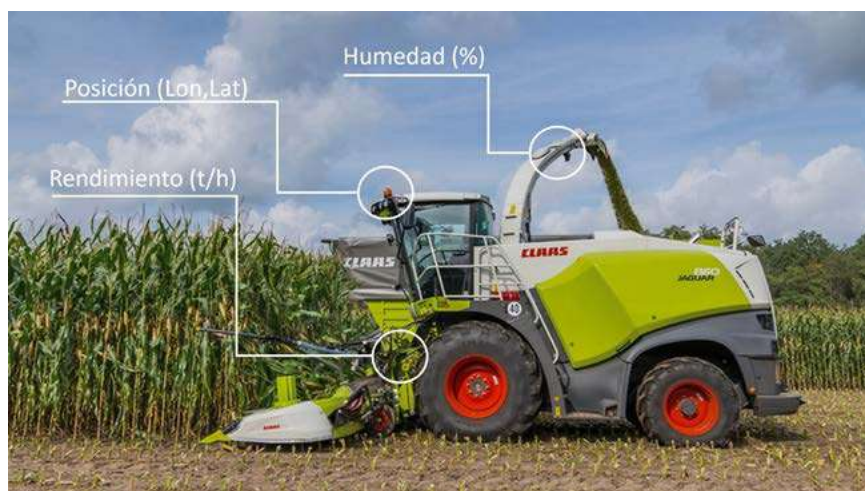


Figura 3. Sensores necesarios para obtener mapas de rendimiento en cosechadoras autopropulsadas de forraje.

Para la medida del contenido de humedad se utilizan dos tipos de sensores, los de tipo capacitivo y los que se basan en espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR). Estos últimos tienen un coste mucho mayor y también pueden determinar otras propiedades cualitativas del forraje (proteína, almidón, azúcar, fibra, cenizas...).

Dependiendo de la marca de la picadora de forraje, esta información se almacena en el sistema informático de la máquina en un formato diferente. En el mercado español el 59% de las unidades nuevas vendidas en

nueva adquisición han comenzado a disponer de sensores (ver Figura 3) que miden la producción de forraje y su contenido en humedad, con lo que georreferenciando estos datos con las posiciones calculadas por un receptor GNSS situado encima de la cabina, permiten obtener mapas de rendimiento. Diversos sensores para la medida del rendimiento en las cosechadoras de forraje fueron probados entre finales de los años 90 y principios de los 2000. Finalmente, la solución adoptada por todos los modelos comerciales de picadoras de forraje fue el sistema de medida del desplazamiento en los rodillos de alimentación.



Figura 4. Inscripciones de picadoras de forraje nuevas en el ROMA por casa comercial en el período 2015-2022.

En los últimos cinco años las cosechadoras autopropulsadas de forraje de nueva adquisición han comenzado a disponer de sensores que miden la producción de forraje y su contenido en humedad, con lo que georreferenciando estos datos con las posiciones calculadas por un receptor GNSS situado encima de la cabina, permiten obtener mapas de rendimiento

los últimos 8 años son del modelo Jaguar de la casa comercial Claas. New Holland con un 26%, John Deere con un 11% y Krone con un 4% son las otras tres casas comerciales con unidades nuevas inscritas entre 2015 y 2022, pero con unas cuotas de mercado mucho más bajas (Figura 4).

Los mapas de rendimiento obtenidos por las cosechadoras pueden ser utilizados para optimizar las dosis de siembra y de fertilizantes mediante técnicas de Aplicación a Dosis Variable (ADV). Para ello es necesario cargar mapas de prescripción, obtenidos a partir del procesamiento de los mapas de rendimiento, en los ordenadores de los tractores que controlan las abonadoras y sembradoras. Como las marcas comerciales de tractores más vendidas no coinciden con las de picadoras de forraje (en el año 2022 Claas sólo tuvo un 2,5% de cuota de mercado en tractores frente a un 20,7% de John Deere), hay que solucionar el problema de la compatibilidad de archivos entre tractores y cosechadoras para poder utilizar técnicas de Agricultura de Precisión en cultivos forrajeros. Esta problemática se conoce como la inter-operabilidad de los datos entre la maquinaria agrícola.

Aunque en el mercado se ha llegado a comercializar alguna iniciativa para facilitar el intercambio de los datos más relevantes de las máquinas agrícolas entre distintas marcas comerciales, éstos se limitan a posiciones de las máquinas, velocidades, estado del trabajo y niveles de combustible. Los

archivos de documentación, como es el caso de los datos de rendimiento, aún no son compatibles entre las distintas plataformas digitales asociadas a las casas comerciales.

Por otro lado, en los archivos con los datos de rendimiento en bruto generados por las cosechadoras, se detectan una serie de errores debidos a la georreferenciación, los sensores utilizados y factores operacionales. Para obtener mapas de rendimiento fiables es necesario limpiar los archivos en bruto para depurar los errores y poder definir con precisión las zonas de gestión diferenciada en las parcelas. Las aplicaciones de software comerciales más utilizadas por los usuarios que realizan mapas de prescripción a partir de datos de producción con cultivos forrajeros, no ofrecen información clara de cómo realizan esta depuración de errores y, por lo tanto, sobre qué datos eliminan de los archivos en bruto obtenidos por las cosechadoras.

En este artículo se exponen los primeros resultados obtenidos del análisis de los datos de dos empresas de servicios que quieren comenzar a ofertar técnicas de ADV en el cultivo del maíz forrajero a partir de los mapas de producción documentados con las cosechadoras autopropulsadas de forraje. Ambas empresas utilizan para la documentación de sus operaciones mecanizadas el Centro de Operaciones de la casa comercial John Deere (COJD), al realizar dichas operaciones con tractores de la citada marca. Sin

embargo, para las operaciones de recolección del maíz forrajero, las dos utilizan cosechadoras autopropulsadas de la casa comercial Claas, por lo que necesitan traducir los archivos de datos de cosecha generados en la picadora a un formato compatible con el COJD. Este proceso tiene que ser lo más simple y automatizado posible, con el fin de hacerlo compatible con la actividad comercial de estas empresas de servicios de maquinaria durante las campañas de recolección del forraje.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos utilizados en el presente trabajo fueron recogidos en dos empresas de servicios de maquinaria agrícola con sede en el noroeste de España. Las dos realizan operaciones mecanizadas en zonas ganaderas en las que destaca la recolección de forraje, para lo cual cuentan en sus parques con cosechadoras autopropulsadas de forraje modelos Jaguar 970 y 980 de la casa comercial Claas. También las dos utilizan una flota de tractores de la marca John Deere equipados con monitores que documentan las operaciones en archivos que son subidos posteriormente a la aplicación en la nube denominada Centro de Operaciones. Las dos empresas cosechan anualmente en torno a 1.000 ha de maíz forrajero repartidas en un elevado número de parcelas de reducida superficie.

Para la medida de la producción cosechada y el contenido de humedad del forraje se activó el sensor que



Figura 5. Sensores y equipos adicionales instalados en las cosechadoras autopropulsadas. **Izquierda:** sensor de humedad del forraje en el tubo de descarga. **Derecha:** equipos instalados en cabina para la adquisición, georreferenciación y transmisión de los datos.

mide el desplazamiento entre los rodillos de alimentación (que ya viene montado de serie en las picadoras) y se instaló el sensor capacitivo de medida del contenido de humedad en el tubo de descarga (ver Figura 5). Para la adquisición de los datos de producción, las cosechadoras de forraje se equiparon en sus cabinas con monitores John Deere (4600 y 4640) que por medio de un puente de la casa comercial Agra-GPS se conectaron con el Can-Bus de la máquina Claas y obtuvieron los archivos de rendimiento en formato jdl (John Deere Link) para poder ser subidos al Centro de Operaciones. En una de las empresas los datos se descargan de los monitores manualmente por medio de memorias USB tipo pen drive mientras que en la otra la descarga se realizaba telemáticamente por medio de un modem directamente a la nube. Para la georreferenciación de los datos, todas las cosechadoras iban equipadas con receptores GNSS John Deere Starfire 6000 y 7000 conectados a los monitores.

Para la descarga de los archivos con los datos de cosecha desde el Centro de Operaciones de cada empresa se utilizó la plataforma AgFiniti de la casa comercial Ag Leader. Esta aplicación en nube permite su sincronización con el Centro de Operaciones de John Deere y descargar automáticamente los archivos que cada empresa vaya subiendo al mismo. Posteriormente los datos brutos de rendimiento

de cada parcela y campaña fueron importados en el software SMS (Spatial Management System), también de la casa comercial Ag Leader. Con el SMS se realizó una primera edición de los archivos consistente en ordenar correctamente las parcelas por clientes, granjas, campos y años, así como revisar sus límites, separar parcelas que aparecían juntas en un mismo archivo, juntar trozos de parcela que aparecían separados en distintos archivos y eliminar los datos con una humedad inferior al 46%. Tras ello los archivos fueron exportados en formato texto de Ag Leader Advanced (ALA.txt) para ser limpiados con el software Yield Editor 2.07, que posee una serie de filtros y herramientas para depurar los errores típicos que aparecen en los mapas de rendimiento.

Los archivos de datos con problemas en el formato numérico de la columna de la duración del intervalo de medida de cada dato registrado fueron corregidos utilizando el software Access de Microsoft. En total fueron procesados 376 archivos procedentes de 100 parcelas distintas pertenecientes a 36 explotaciones ganaderas diferentes de las provincias de Lugo y Asturias. En todas las parcelas se obtuvieron datos de producción de maíz forrajero con un mínimo de tres campañas cosechadas entre los años 2018 y 2022, dando lugar a entre 3 y 5 archivos distintos por parcela. La superficie de las parcelas analizadas estuvo comprendida entre 1,8 y las 19,2 ha, con una media de 3,5 ha.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de los equipos instalados en las cosechadoras

Los sensores y equipos instalados en las cosechadoras autopropulsadas de forraje permitieron adquirir los archivos con los datos de rendimiento georreferenciados de una forma satisfactoria. Además, al funcionar correctamente el puente Agra-GPS instalado entre la picadora Claas y el monitor 4640 de John Deere, la información adquirida se cargó correctamente en el Centro de Operaciones. Esta solución facilita la gestión y el análisis posterior de los datos al permitir utilizar una sola plataforma para toda la información, independientemente de que los archivos provengan de los trabajos realizados con los tractores o las cosechadoras. Para el técnico de la empresa de servicios es más cómodo trabajar con una única aplicación informática en lugar de tener que aprender el manejo de dos diferentes que, aunque permitan la exportación de sus archivos de una a otra, complican el aprendizaje y su uso diario.

Descarga de los archivos del Centro de Operaciones

Una vez que la empresa concede los permisos necesarios para establecer la conexión entre su Centro de Operaciones John Deere (COJD) y la plataforma AgFiniti, comienzan a descargarse de forma automática todos los archivos que se han subido al COJD desde el año que se establezca en la configuración. A partir de ahí, de cada

LONGITUD (°)	LATITUD (°)	PARCELA	PRODUCTO	OBJ. ID	TIEMPO	DURACIÓN (S)
-7,2383179	43,48997345	Monte	Ensilado de maíz	13	22/9/20	1
-7,23833145	43,48996829	Monte	Ensilado de maíz	14	22/9/20	1
-7,23834361	43,48996196	Monte	Ensilado de maíz	15	22/9/20	0,999
-7,23835439	43,48995515	Monte	Ensilado de maíz	16	22/9/20	1,001
-7,23836744	43,48994973	Monte	Ensilado de maíz	17	22/9/20	0,999
-7,23838079	43,48994589	Monte	Ensilado de maíz	18	22/9/20	1,001
-7,23839766	43,48994066	Monte	Ensilado de maíz	19	22/9/20	1,001
-7,23841491	43,48993646	Monte	Ensilado de maíz	20	22/9/20	0,999
-7,23842848	43,48993251	Monte	Ensilado de maíz	21	22/9/20	1
-7,23844234	43,48992849	Monte	Ensilado de maíz	22	22/9/20	1

Tabla 1. Dataset en formato csv.

nuevo archivo que la empresa sube al COJD se realiza una copia de forma automática e inmediata en la nube de AgFiniti. Este proceso funcionó de forma satisfactoria y permitio utilizar AgFiniti como una pasarela para descargar los archivos en el software SMS.

La descarga de los archivos de cosecha en el programa SMS desde AgFiniti también se realizó de una forma satisfactoria, aunque con problemas para ordenar correctamente los datos en el cliente, granja y campo correctos. Esto creemos que fue debido principalmente a carencias de la base de datos original creada por la empresa en el Centro de Operaciones. En campaña, al trabajar con múltiples operarios, se producen errores como documentar la información de una misma parcela con diferentes denominaciones, agrupar parcelas diferentes en un mismo archivo o utilizar nombres de campos y de granjas idénticos para distintos clientes, que después dificultan la correcta identificación de los archivos por parte del software SMS. La organización metódica de la base de datos es un requisito a respetar escrupulosamente para después poder tener la información correctamente ordenada y poder gestionarla adecuadamente para la toma de decisiones. La uti-

lización de un puente para traducir los archivos entre los formatos de las dos casas comerciales también pudo influir en esta incidencia.

Esta colocación incorrecta de algunos archivos obligó a realizar una primera edición de los mismos en el SMS. Las principales actuaciones consistieron en colocar los datos de cosecha en el cliente y campo correctos, separar parcelas que figuraban juntas en un mismo archivo o unir trozos de una misma parcela que aparecían en archivos diferentes. Mediante estos trabajos de edición se consiguieron obtener 365 archivos de datos (datasets) completos procedentes de la descarga automática desde el COJD por medio de la sincronización de AgFiniti y SMS. Solo 7 archivos (1,9%) necesitaron ser descargados manualmente desde el COJD al no ser encontrados en el SMS. Probablemente estos archivos también fuesen correctamente descargados por el procedimiento automático de sincronización de SMS con AgFiniti, pero por los problemas de colocación en un cliente y campo incorrecto, no se haya podido encontrarlos.

Limpieza de los archivos de datos de rendimiento

Una vez organizados todos los archivos de datos en bruto de cosecha

en el programa SMS, se procedió a realizar su limpieza para eliminar los errores tomando como referencia el protocolo de procesamiento y limpieza establecido por Kharel et al. (2018). Para ello se procedió a exportar todos los archivos de datos en el formato Ag Leader Advanced (ALA) de archivo de texto (txt). Este es uno de los dos únicos formatos que admite el software Yield Editor, programa utilizado para aplicar los filtros para eliminar los errores que aparecen en los datos en bruto.

En este proceso de exportación se detectó un problema con el formato numérico de los datos de tiempo del intervalo de medida en el que se registra cada punto de rendimiento. Las cosechadoras trabajaron registrando los datos de rendimiento con una frecuencia de 1 Hz (1 dato por segundo), pero en la columna del archivo de datos en la que se reflejaba este atributo el valor numérico era una cifra decimal que no siempre coincidía con el valor de 1 segundo exacto. En la Tabla 1 vemos las 10 primeras filas de parte de un archivo de datos exportado en formato csv en donde en la columna siete apreciamos estos valores decimales del intervalo de medida en segundos.

LONGITUD (°)	LATITUD (°)	FLUJO (LB/S)	TIEMPO GPS (S)	DURACIÓN (S)
-7,238318	43,489973	67,37	1600786807	0
-7,238331	43,489968	81,34	1600786808	0
-7,238344	43,489962	79,89	1600786809	0
-7,238354	43,489955	43,94	1600786810	1
-7,238367	43,48995	56,31	1600786811	0
-7,238381	43,489946	73,73	1600786812	1
-7,238398	43,489941	76,42	1600786813	1
-7,238415	43,489936	139,54	1600786814	0
-7,238428	43,489933	166,19	1600786815	0
-7,238442	43,489928	112,25	1600786816	1

Tabla 2. Dataset en formato Ag Leader Advanced txt.

Cuando este mismo archivo de datos se exporta en formato txt ALA el resultado lo vemos en la Tabla 2, en donde en la cuarta columna observamos que los valores decimales anteriores del intervalo de medida han sido convertidos en números enteros, lo cual genera muchos valores iguales a cero. Esto provoca que cuando se calcula la producción por hectárea si multiplicamos el flujo medido en los rodillos de alimentación por un tiempo de medida igual a cero, nos da como resultado una producción también igual a cero. Por este motivo estos archivos en formato ALA txt han tenido que corregirse sustituyendo los ceros por intervalos de medida de 1 segundo para poder ser procesados por el software Yield Editor. Pero el redondeo realizado con todos los

valores de la duración del intervalo de medida por el formato ALA txt, va a provocar que los datos de producción por hectárea no van a coincidir con los calculados con los valores decimales. Esto tiene como consecuencia que las producciones que calcula el programa Yield Editor difieren de las calculadas tanto en el Centro de Operaciones de John Deere como en el software SMS. Esta circunstancia, además de las limitaciones de sólo aceptar dos formatos de archivos muy concretos (ALA txt y John Deere Greenstar txt) y no aceptar datasets con los datos en unidades del sistema métrico, hacen que la utilización de Yield Editor como programa de referencia para la limpieza de archivos no parezca lo más conveniente en nuestro contexto geográfico.

A pesar de estas limitaciones detectadas, se ha realizado la limpieza de los errores en los archivos de datos brutos utilizando los filtros que proporciona el programa Yield Editor. La limpieza automática que ofrece la versión 2.07 de Yield Editor denominada AYCE (Automated Yield Cleaning Expert), se toma como referencia para el desarrollo de procedimientos alternativos que simplifiquen este trabajo a realizar por las empresas de servicios. Como resultado de estas pruebas se constata la importancia de trabajar con archivos libres de errores para determinar las distintas zonas de manejo de una parcela para realizar, por ejemplo, aplicaciones a dosis variable.

En la Figura 6 podemos ver un ejemplo de establecer tres zonas de manejo (baja, media y alta producción) en una parcela de 3,75 ha a partir de datos brutos y a partir de datos limpios con limpieza manual y automática. La superficie catalogada como de bajo potencial productivo en la zona sur de la parcela se aprecia que cambia a potencial medio tras el proceso de limpieza. En la zona norte en cambio, se reduce la superficie de alto poten-



Figura 6. Mapas de rendimiento con tres zonas de manejo elaborados con un archivo sin limpiar (izquierda), con limpieza manual (centro) y con limpieza automática (derecha).

ARCHIVO	Nº DATOS	MV T/HA	MS T/HA	MS %	DATOS ELIMINADOS	% ELIMINADOS
Datos brutos	3076	31,62	13,22	45,89	0	0%
Filtro Humedad < 46%	2428	33,95	13,62	40,65	648	21%
Limpieza manual	2383	33,88	13,59	40,64	693	23%
Limpieza automática	2198	34,03	13,64	40,51	878	29%

Tabla 3. Procesos de limpieza realizados (MV: materia verde, MS: materia seca).

cial productivo al eliminarse unos datos anómalos de producciones excesivas. En este ejemplo en primer lugar se han eliminado los datos de producción en verde de maíz forrajero con un contenido de humedad inferior al 46% siguiendo lo aconsejado por el protocolo de Kharel et al. (2018). A continuación, en la limpieza manual, se han eliminado los datos con producciones cuyos valores se apartan en ± 2 desviaciones típicas (STD) de la media, con lo que desaparecen valores anómalos con producciones muy altas o muy bajas. Por último se ha realizado una limpieza automática aplicando filtros de retraso del flujo, velocidades y producciones mínimas y máximas, solapes y ± 3 STD.

La consecuencia de este filtrado se puede apreciar con claridad en los rangos de las leyendas de las zonas con bajo y alto rendimiento de los tres mapas de la Figura 6. Como podemos observar, hay diferencias importantes en la delimitación de las zonas de manejo de utilizar los datos en bruto a utilizar los datos después del proceso de limpieza. Sin embargo, no hay grandes diferencias entre el procedimiento de limpieza más simple (el manual) y el más completo (el automático), lo que nos indica que con un procedimiento de limpieza básico ya podemos conseguir grandes mejoras en la fiabilidad de los mapas de rendimiento. Esto facilita la utilización de aplicaciones sencillas por parte de las empresas de servicios para la limpieza de sus archivos con datos de rendimiento.

En la Tabla 3 se muestran los resultados del proceso de limpieza sobre los datos brutos de partida. La combinación de

descartar los datos con un contenido de humedad inferior al 46% junto con la limpieza manual o automática con el programa Yield Editor eliminó del 23% (manual) al 29% (automática) de los datos, aumentando el rendimiento medio y disminuyendo el contenido medio de materia seca.

CONCLUSIONES

Los primeros análisis de los datos de producción registrados por las cosechadoras autopropulsadas de forraje

en el noroeste de España permiten intuir el gran potencial que su correcta interpretación puede tener para la optimización de la aplicación de insumos en las parcelas. Para la correcta delimitación de las zonas de manejo diferenciado dentro de una parcela es necesario limpiar los archivos con los datos de rendimiento en bruto que genera la cosechadora autopropulsada de forraje, con el fin de eliminar los errores que contienen y obtener mapas de rendimiento fiables. ■

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto "GO MilloPreciso – Agricultura de Precisión con maíz forrajero en Galicia", proyecto financiado por las ayudas para la ejecución de proyectos de los grupos operativos de la Asociación Europea de la Innovación (AEI), cofinanciadas en un 75% con el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) en el marco del Programa de desarrollo rural (PDR) de Galicia 2014-2020 con fondos propios de la Xunta de Galicia en un 22.5% y con fondos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en un 2.5%. La Consellería do Medio Rural es el órgano de la Administración gallega a la que le corresponde proponer y ejecutar las directrices generales en el ámbito rural, y engloba las competencias en materia de agricultura, ganadería, desarrollo rural y ordenación comarcal, estructuras rurales, industrias agroalimentarias y forestales, montes, prevención y defensa de los incendios forestales. También ha contribuido en el presente estudio el proyecto colaborativo del Campus Terra "AgriPreMaF – Agricultura de Precisión con Maíz Forrajero", financiado en el marco del Convenio de Colaboración entre la USC y la Consellería de Cultura, Educación e Universidade de la Xunta de Galicia. Gracias, por último, a las empresas de servicios Agropres S.L. y Marcos Otero S.L. por su colaboración en estos dos proyectos.



REFERENCIAS

- Kharel T., Swink S.N., Youngerman C., Maresma A., Czymmek K.J., Ketterings Q.M., Kyverga P., Lory J., Musket T.A., and Hubbard V. (2018). Processing/Cleaning Corn Silage and Grain Yield Monitor Data for Standardized Yield Maps across Farms, Fields, and Years. Cornell University, Nutrient Management Spear Program, Department of Animal Science, Ithaca NY.



Cosechando forraje y datos: agricultura de precisión con picadoras autopropulsadas

Javier Bueno Lema

Universidad de Santiago de Compostela

Las cosechadoras autopropulsadas de forraje, conocidas popularmente como picadoras de forraje, poseen en la actualidad una serie de sensores que les permiten adquirir una gran cantidad de información de forma simultánea a la recolección del forraje.

Esto las ha convertido en una relevante herramienta de adquisición de datos que pueden ser utilizados para la agricultura de precisión con cultivos forrajeros. Además, es un procedimiento económico ya que la incorporación de la tecnología necesaria supone una inversión porcentualmente baja en comparación con el elevado

valor de adquisición de estas máquinas.

En España, a partir del año 2018 las empresas de servicios comenzaron a utilizar los sensores que miden la producción de forraje y su contenido en humedad (ver Figura 1), con lo que georreferenciando estos datos con las posiciones calculadas por un receptor GNSS situado encima de la cabina, pueden elaborar mapas de rendimiento.

Diversos sensores para la medida del rendimiento en las cosechadoras de forraje fueron probados entre finales de los años 90 y principios de los 2000. Finalmente, la solución adoptada por todos los modelos comerciales de picadoras de forraje fue el sistema de medida del desplazamiento en los rodillos de alimentación.

Medir la humedad

Para la medida del contenido de humedad se utilizan dos tipos de sensores, los de tipo capacitivo y los que se basan en espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR). Estos últimos tienen una mayor precisión y un mayor coste, además de poder determinar otras propiedades cualitativas del forraje (proteína, almidón, azúcar, fibra, cenizas...). La tendencia que se está observando en los principales fabricantes es a adoptar el NIR como sensor para determinar las propiedades del cultivo, eliminando las otras opciones de su oferta comercial.

Dependiendo de la marca de la picadora de forraje, esta

información se almacena en el sistema informático de la máquina en un formato diferente. En el mercado español el 59% de las unidades nuevas vendidas en los últimos 9 años son del modelo Jaguar de la casa comercial Claas.

New Holland con un 24%, John Deere con un 12% y Krone con un 5% son las otras tres casas comerciales con unidades nuevas inscritas en el Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA) entre 2015 y 2023, pero con unas cuotas de mercado mucho más bajas.

Los mapas de rendimiento obtenidos por las cosechadoras pueden ser utilizados para optimizar las dosis de siembra y de fertilizantes mediante técnicas de Aplicación a Dosis Variable (ADV). Para ello es necesario cargar mapas de prescripción, obtenidos a partir del procesamiento de los mapas de rendimiento, en los ordenadores de los tractores que controlan las abonadoras y sembradoras.

Compatibilidad de archivos

Como las marcas comerciales de tractores más vendidas no coinciden con las de picadoras de forraje (en el año 2023 John Deere fue la marca más vendida de tractores con un 21,8% de cuota de mercado), hay que solucionar el problema de la compatibilidad de archivos entre tractores y cosechadoras de distinta marca (flotas mixtas) para poder utilizar técnicas de Agricultura de Precisión en cultivos forrajeros. Esta problemática se conoce

“Son una relevante herramienta de adquisición de datos que pueden ser utilizados para la agricultura de precisión con cultivos forrajeros”

como la inter-operabilidad de los datos entre la maquinaria agrícola.

Aunque en el mercado se ha llegado a comercializar alguna iniciativa para facilitar el intercambio de los datos más relevantes de las máquinas agrícolas entre distintas marcas comerciales (como por ejemplo la aplicación DataConnect de 365FarmNet), éstos se limitan a la información de telemetría como posiciones de las máquinas, velocidades, estado del trabajo y niveles de combustible.

Los archivos de documentación, como es el caso de los datos de rendimiento, aún no son compatibles entre las distintas plataformas

digitales asociadas a las casas comerciales (Centro de Operaciones de John Deere, Claas Telematics, CNH PLM Connect...).

Por otro lado, en los archivos con los datos de rendimiento en bruto generados por las cosechadoras, se detectan una serie de errores debidos a la georreferenciación, los sensores utilizados y factores operacionales. Para obtener mapas de rendimiento fiables es necesario por un lado realizar una adecuada calibración de los sensores utilizados y, por otro, limpiar los archivos en bruto para depurar los errores y poder definir con precisión las zonas de gestión diferenciada en las parcelas (zonas de manejo).

Las aplicaciones de software comerciales más utilizadas por los usuarios que realizan mapas de prescripción a partir de datos de producción con cultivos forrajeros, no ofrecen información clara de cómo realizan esta depuración de errores y, por lo tanto, sobre qué datos eliminan de los archivos en bruto obtenidos por las cosechadoras.

En el año 2022 se puso en marcha el Grupo Operativo MilloPreciso con el fin de promover el uso de la

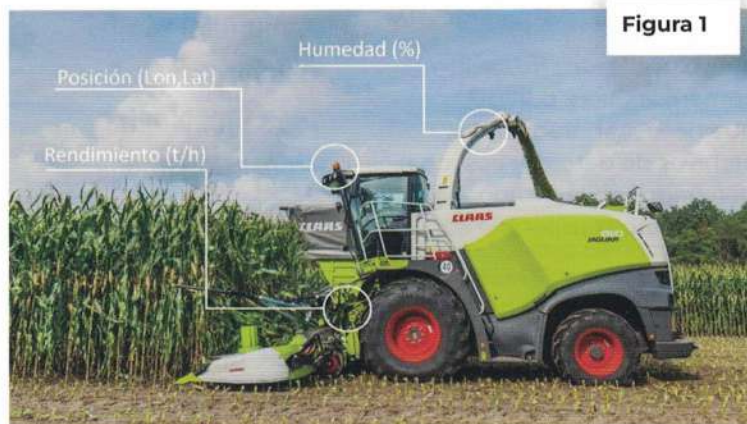


Figura 1

Figura 2: Mapas con zonas de manejo obtenidos durante cuatro campañas consecutivas (2020-2023) en una parcela de 5.6 ha de superficie con el cultivo de maíz forrajero.

(Código de colores:

● producción baja ● producción media ● producción alta



Agricultura de Precisión en el cultivo del maíz forrajero. Con este proyecto se analizan los archivos con datos de rendimiento obtenidos por empresas de servicios que quieren comenzar a ofertar técnicas de ADV en el cultivo del maíz forrajero a partir de los mapas de producción documentados con las cosechadoras autopropulsadas de forraje.

Las empresas que participan en el proyecto utilizan para la documentación de sus operaciones mecanizadas el Centro de Operaciones de la casa comercial John Deere (COJD), al realizar dichas operaciones con tractores de la citada marca. Sin embargo, para las operaciones de recolección del maíz forrajero, utilizan cosechadoras autopropulsadas de la casa comercial Claas, por lo que necesitan traducir los archivos de datos de cosecha generados en la picadora a un formato compatible con el COJD.

Este proceso tiene que ser lo más simple y automatizado posible, con el fin de hacerlo compatible con la actividad

comercial de las empresas de servicios de maquinaria durante las campañas de recolección del forraje.

En el proyecto MilloPreciso, para la adquisición de los datos de producción, las cosechadoras de forraje Claas se equiparon en sus cabinas con monitores John Deere (4600 y 4640) que por medio de un puente de la casa comercial Agra-GPS se conectaron con el Can-Bus de la máquina Claas y obtuvieron los archivos de rendimiento en formato jdl

“Es un procedimiento económico ya que la incorporación de la tecnología necesaria supone una inversión baja en comparación con el elevado valor de estas máquinas”

(John Deere Link) para poder ser subidos al Centro de Operaciones.

Para la georreferenciación de los datos, todas las cosechadoras iban equipadas con receptores GNSS John Deere Starfire 6000 y 7000 conectados a los monitores. Esta duplicación de sistemas de adquisición de la información es hoy en día el método más práctico para compatibilizar los ficheros con datos de rendimiento entre las dos casas comerciales.

Mapas de rendimiento

Una vez eliminados los puntos con errores de los archivos de datos en bruto (proceso de limpieza), procedemos a elaborar los mapas de rendimiento que permiten establecer distintas zonas de manejo dentro de las parcelas. Para ello es recomendable disponer de un mínimo de tres campañas con datos de rendimiento de la misma parcela, ya que además de la variabilidad espacial entre las distintas zonas de la parcela, debemos tener en cuenta la posible variabilidad temporal entre las distintas campañas a causa de la influencia de las condiciones climáticas y otros factores (incidencias de plagas y enfermedades, fechas de siembra y recolección, etc.).

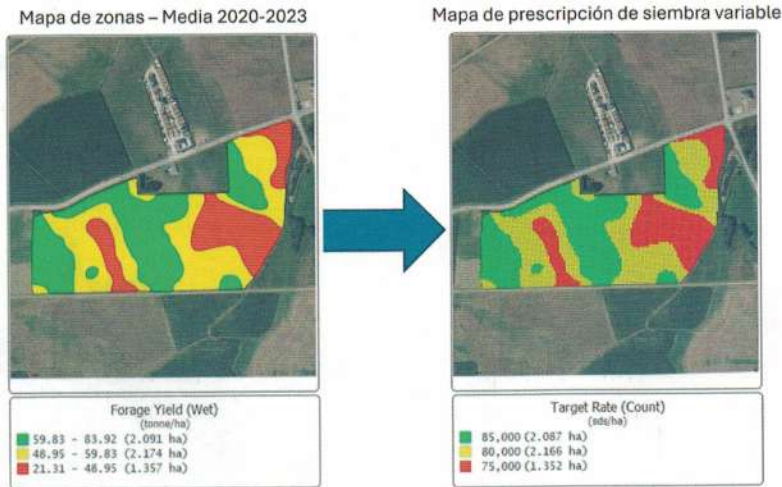
En la figura siguiente (Figura 2) podemos observar el ejemplo de una parcela de 5,6 hectáreas en la que se han obtenido mapas de rendimiento con una picadora de forraje durante cuatro campañas consecutivas (2020 a 2023).

Se puede apreciar una consistencia temporal de las zonas de las parcelas en donde se detectan las producciones bajas, las medias y las altas, con lo que podemos obtener un mapa de zonas de manejo que sea el resultado de la media de las cuatro campañas. Este mapa medio nos ofrece una probabilidad bastante elevada de que la identificación de zonas realizada sea correcta al estar basado en cuatro campañas en las que se ha observado una localización bastante similar año tras año de las zonas con distinto potencial productivo.

Por último, una vez que tenemos delimitadas las zonas de manejo de las parcelas, podemos generar



Figura 3



una prescripción para realizar una siembra o un abonado a dosis variable. En la Figura 3 podemos ver un ejemplo de prescripción de siembra variable generada a partir del mapa medio (2020-2023) de zonas obtenido.

Para la elaboración de esta modulación de la dosis de siembra hay que tener en cuenta tanto el potencial de producción de las distintas zonas de la parcela como el potencial genético de la variedad de maíz utilizada para que tenga una respuesta a la variación de la densidad de siembra.

Por las experiencias realizadas en otros países de Europa, en 8 de cada 10 casos se consigue un aumento de la producción

con la modulación, lo que se traduce en un aumento de los ingresos obtenidos por hectárea. Esta es la finalidad de la Agricultura de Precisión, una utilización más eficiente de los insumos (en este caso semilla de maíz) gracias a la información que nos proporciona la cosechadora autopropulsada de forraje con sus sensores de medida de la producción.

Javier Bueno es investigador del Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Terra, Lugo.

javier.bueno@usc.es

GO MilloPreciso-Agricultura de precisión con maíz forrajero

El proyecto 'GO MilloPreciso – Agricultura de precisión con maíz forrajero en Galicia' ha sido financiado por las ayudas para la ejecución de proyectos de los grupos operativos de la Asociación Europea de la Innovación (AEI), cofinanciadas en un 75% con el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) en el marco del Programa de Desarrollo Rural (PDR) de Galicia 2014-2020 con fondos propios de la Xunta de Galicia en un 22,5% y con fondos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en un 2,5%.



MilloPreciso: agricultura de precisión con maíz forrajero

En este artículo se exponen los primeros resultados obtenidos con el proyecto GO MilloPreciso, donde se han analizado los datos de dos empresas de servicios que quieren comenzar a ofertar técnicas de aplicación a dosis variable (ADV) en el cultivo del maíz forrajero a partir de los mapas de producción documentados con las cosechadoras autopropulsadas de forraje.

Javier Bueno Lema, José Miguel Edreira Sanjurjo, Carlota Irimia López

Departamento de Ingeniería Agroforestal, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidad de Santiago de Compostela, Campus Terra, Lugo; javier.bueno@usc.es

1. INTRODUCCIÓN

Las cosechadoras autopropulsadas de forraje, conocidas popularmente como picadoras de forraje, se han convertido en las máquinas más utilizadas por las empresas de servicios y cooperativas de utilización de maquinaria agrícola (CUMA) en las campañas de recolección de forraje que tienen lugar en las explotaciones ganaderas del noroeste de España.

En España, la media de unidades nuevas inscritas en el Registro Oficial de Maquinaria Agrícola (ROMA) en los últimos nueve años (2015-2023) ha sido de 22 máquinas anuales, de las que aproximadamente la mitad se inscriben en Galicia (48 %). Como vemos en la evolución de las inscripciones de la **figura 1** (pág. sig.), el número de unidades nuevas inscritas en el ROMA cada año es reducido

en comparación con los principales mercados europeos. Por ejemplo, en Alemania se venden anualmente más de 500 unidades nuevas y en Francia, más de 300. En la **figura 2** (pág. sig.) podemos observar la distribución por comunidad autónoma de las 194 unidades nuevas de picadoras de forraje inscritas en el ROMA en el período 2015-2023.

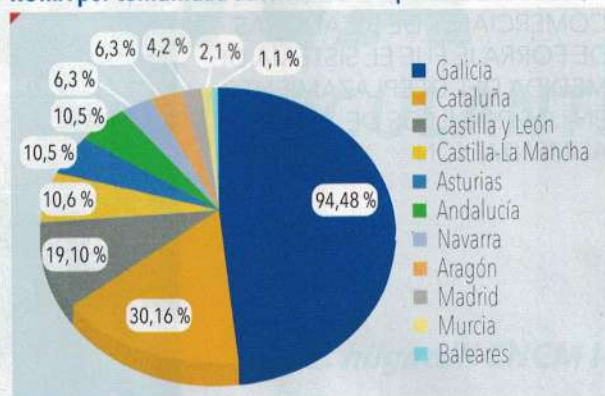
En este tipo de máquinas el mercado de unidades de segunda mano



Figura 1. Inscripciones anuales de picadoras de forraje nuevas en el ROMA



Figura 2. Inscripciones de picadoras de forraje nuevas en el ROMA por comunidad autónoma en el período 2015-2023



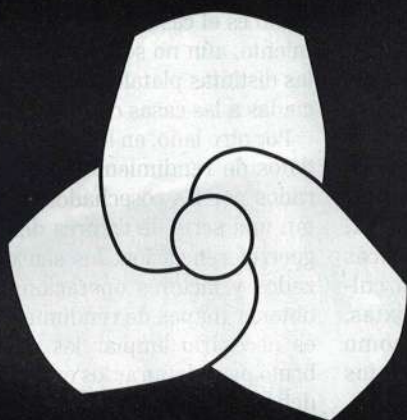
es mucho mayor que el de unidades nuevas. En el año 2023, sobre un total de 73 máquinas inscritas en el ROMA, solo 15 (20,5 %) fueron unidades nuevas, siendo el resto (58 unidades) cambios de titularidad o importaciones de máquinas usadas, es decir, en 2023 se ven-

dieron cuatro veces más máquinas usadas que nuevas.

En los últimos cinco años las cosechadoras autopropulsadas de forraje de nueva adquisición han comenzado a disponer de sensores (ver figura 3; pág. sig.) que miden la producción de forraje y su contenido en hume-

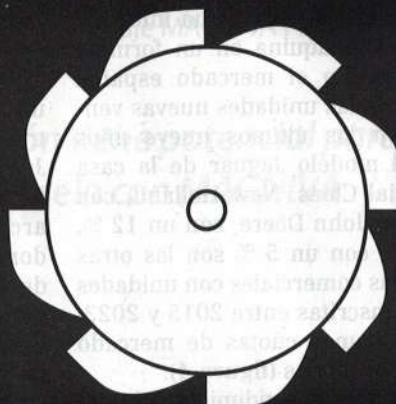
dad, con lo que, georreferenciando estos datos con las posiciones calculadas por un receptor GNSS situado encima de la cabina, permiten obtener mapas de rendimiento. Diversos sensores para la medida del rendimiento en las cosechadoras de forraje fueron probados entre finales de »

BATIDORES DE PURIN



Batidores de toma de fuerza, batidores eléctricos, batidores con motor hidráulico y agitadores sumergidos. ¡Tenemos el batidor apropiado para sus necesidades individuales!

DISTRIBUIDORES DE ENSILAJE DE HIERBA



Agratechnik Landmaschinen Ibérica S.L.
+34 (0) 678432835
+34 (0) 982314029

Reck www.reck-agrar.com

► LA SOLUCIÓN ADOPTADA POR TODOS LOS MODELOS COMERCIALES DE PICADORAS DE FORRAJE FUE EL SISTEMA DE MEDIDA DEL DESPLAZAMIENTO EN LOS RODILLOS DE ALIMENTACIÓN

Figura 3. Sensores necesarios para obtener mapas de rendimiento en cosechadoras autopropulsadas de forraje



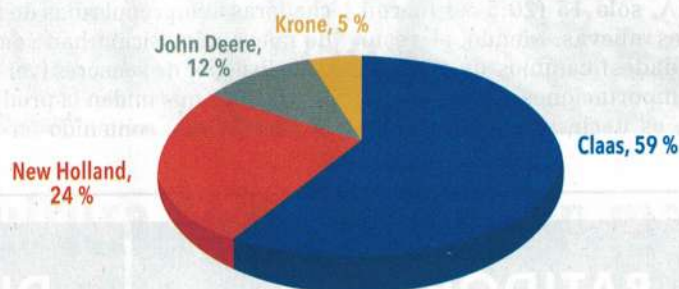
los años 90 y principios de los 2000. Finalmente, la solución adoptada por todos los modelos comerciales de picadoras de forraje fue el sistema de medida del desplazamiento en los rodillos de alimentación.

Para la medida del contenido de humedad se utilizan dos tipos de sensores, los de tipo capacitivo y los que se basan en espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR). Estos últimos tienen un coste mucho mayor y también pueden determinar otras propiedades cualitativas del forraje (proteína, almidón, azúcar, fibra, cenizas...).

Dependiendo de la marca de la picadora de forraje, esta información se almacena en el sistema informático de la máquina en un formato diferente. En el mercado español el 59 % de las unidades nuevas vendidas en los últimos nueve años son del modelo Jaguar de la casa comercial Claas. New Holland, con un 24 %; John Deere, con un 12 %, y Krone, con un 5 % son las otras tres casas comerciales con unidades nuevas inscritas entre 2015 y 2023, pero con unas cuotas de mercado mucho más bajas (figura 4).

Los mapas de rendimiento obtenidos por las cosechadoras pueden ser utilizados para optimizar las dosis de siembra y de fertilizantes mediante técnicas de aplicación a dosis variable (ADV). Para ello es necesario cargar mapas de prescripción, obtenidos a partir del procesamiento de los mapas de rendimiento, en los ordenadores de los tractores que controlan las abonadoras y sembradoras.

Figura 4. Inscripciones de picadoras de forraje nuevas en el ROMA por casa comercial en el período 2015-2023



Como las marcas comerciales de tractores más vendidas no coinciden con las de picadoras de forraje (en el año 2023 Claas solo tuvo un 2,3 % de cuota de mercado en tractores frente a un 21,8 % de John Deere), hay que solucionar el problema de la compatibilidad de archivos entre tractores y cosechadoras para poder utilizar técnicas de agricultura de precisión en cultivos forrajeros con flotas mixtas. Esta problemática se conoce como la "interoperabilidad de los datos entre la maquinaria agrícola".

Aunque en el mercado se ha llegado a comercializar alguna iniciativa para facilitar el intercambio de los datos más relevantes de las máquinas agrícolas entre distintas marcas comerciales (como por ejemplo DataConnect de 365FarmNet), estos se limitan a posiciones de las máquinas, velocidades, estado del trabajo y niveles de combustible.

Los archivos de documentación, como es el caso de los datos de rendimiento, aún no son compatibles entre las distintas plataformas digitales asociadas a las casas comerciales.

Por otro lado, en los archivos con los datos de rendimiento en bruto generados por las cosechadoras, se detectan una serie de errores debidos a la georreferenciación, los sensores utilizados y factores operacionales. Para obtener mapas de rendimiento fiables es necesario limpiar los archivos en bruto para depurar los errores y poder definir con precisión las zonas de gestión diferenciada en las parcelas. Las aplicaciones de software comerciales más utilizadas por los usuarios que realizan mapas de prescripción a partir de datos de producción con cultivos forrajeros no ofrecen información clara de cómo realizan esta depuración de errores y, por lo tanto, sobre qué datos eliminan de los archivos en bruto obtenidos por las cosechadoras. ►►

En este artículo se exponen los primeros resultados obtenidos con el proyecto GO MilloPreciso, donde se han analizado los datos de dos empresas de servicios que quieren comenzar a ofertar técnicas de ADV en el cultivo del maíz forrajero a partir de los mapas de producción documentados con las cosechadoras autopropulsadas de forraje. Ambas empresas utilizan para la documentación de sus operaciones mecanizadas el Centro de Operaciones de la casa comercial John Deere (COJD), al realizar dichas operaciones con tractores de la citada marca. Sin embargo, para las operaciones de recolección del maíz forrajero, las dos utilizan cosechadoras autopropulsadas de la casa comercial Claas, por lo que necesitan traducir los archivos de datos de cosecha generados en la picadora a un formato compatible con el COJD. Este proceso tiene que ser lo más simple y automatizado posible, con el fin de hacerlo compatible con la actividad comercial de estas empresas de servicios de maquinaria durante las campañas de recolección del forraje. Los socios que forman el grupo operativo MilloPreciso son la empresa de servicios agrícolas Marcos Otero, la ganadería Ladrela de Xermade, la Universidad de Santiago de Compostela (USC) a través del Grupo BioModem y la Fundación Empresa-Universidad Gallega (Feuga).

2. METODOLOGÍA UTILIZADA EN MILLOPRECISO

Los datos utilizados fueron recogidos en dos empresas de servicios de maquinaria agrícola con sede en el noroeste de España. Las dos realizan operaciones mecanizadas en zonas ganaderas en las que destaca la recolección de forraje, para lo cual cuentan en sus parques con cosechadoras autopropulsadas de forraje modelos Jaguar 970 y 980 de la casa comercial Claas. También las dos utilizan una flota de tractores de la marca John Deere equipados con monitores que documentan las operaciones en archivos que son subidos posteriormente a la aplicación en la nube denominada Centro de Operaciones. Las dos empresas cosechan anualmente en torno a 1.000 ha de maíz forrajero repartidas en

Figura 5. Sensores y equipos adicionales instalados en las cosechadoras autopropulsadas



Izquierda: sensor de humedad del forraje en el tubo de descarga; derecha: equipos instalados en cabina para la adquisición, georreferenciación y transmisión de los datos

un elevado número de parcelas de reducida superficie.

Para la medida de la producción cosechada y el contenido de humedad del forraje se activó el sensor que mide el desplazamiento entre los rodillos de alimentación (que ya viene montado de serie en las picadoras) y se instaló el sensor capacitivo de medida del contenido de humedad en el tubo de descarga (ver figura 5). Para la adquisición de los datos de producción, las cosechadoras de forraje se equiparon en sus cabinas con monitores John Deere (4600 y 4640) que, por medio de un puente de la casa comercial Agra-GPS, se conectaron con el Can-Bus de la máquina Claas y obtuvieron los archivos de rendimiento en formato jdl (John Deere Link) para poder ser subidos al Centro de Operaciones. En una de las empresas los datos se descargan de los monitores manualmente por medio de memorias USB tipo *pen drive* mientras que en la otra la descarga se realizaba telemáticamente por medio de un modem directamente a la nube. Para la georreferenciación de los datos, todas las cosechadoras iban equipadas con receptores GNSS John Deere Starfire 6000 y 7000 conectados a los monitores.

Para la descarga de los archivos con los datos de cosecha desde el Centro de Operaciones de cada empresa se utilizó la plataforma AgFiniti de la casa comercial Ag Leader. Esta aplicación en nube permite su sincronización con el Centro de Operaciones de John Deere y descargar automáticamente los archivos que cada empresa vaya subiendo a este.

Posteriormente, los datos brutos de rendimiento de cada parcela y campaña fueron importados en el *software* SMS (Spatial Management System), también de la casa comercial Ag Leader. Con el SMS se realizó una primera edición de los archivos consistente en ordenar correctamente las parcelas por clientes, granjas, campos y años, así como revisar sus límites, separar parcelas que aparecían juntas en un mismo archivo, juntar trozos de parcela que aparecían separados en distintos archivos y eliminar los datos con una humedad inferior al 46 %. Tras ello, los archivos fueron exportados en formato texto de Ag Leader Advanced (ALA.txt) para ser limpiados con el *software* Yield Editor 2.07, que posee una serie de filtros y herramientas para depurar los errores típicos que aparecen en los mapas de rendimiento.

Los archivos de datos con problemas en el formato numérico de la columna de la duración del intervalo de medida de cada data registrado fueron corregidos utilizando el *software* Access de Microsoft. En total, fueron procesados 376 archivos procedentes de 100 parcelas distintas pertenecientes a 36 explotaciones ganaderas diferentes de las provincias de Lugo y Asturias. En todas las parcelas se obtuvieron datos de producción de maíz forrajero con un mínimo de tres campañas cosechadas entre los años 2018 y 2022, dando lugar a entre 3 y 5 archivos distintos por parcela. La superficie de las parcelas analizadas estuvo comprendida entre la 1,8 y las 19,2 ha, con una media de 3,5 ha. ►

3. PRIMEROS RESULTADOS OBTENIDOS

3.1. Comportamiento de los equipos instalados en las cosechadoras

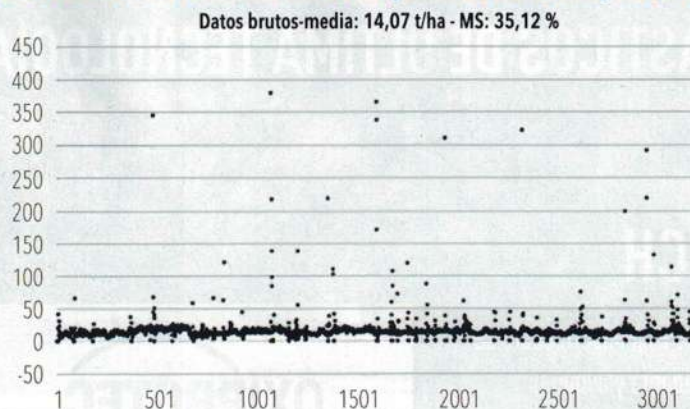
Los sensores y equipos instalados en las cosechadoras autopropulsadas de forraje permitieron adquirir los archivos con los datos de rendimiento georreferenciados de una forma satisfactoria. Además, al funcionar correctamente el puente Agra-GPS instalado entre la picadora Claas y el monitor 4640 de John Deere, la información adquirida se cargó correctamente en el Centro de Operaciones. Esta solución facilita la gestión y el análisis posterior de los datos al permitir utilizar una sola plataforma para toda la información, independientemente de que los archivos provengan de los trabajos realizados con los tractores o las cosechadoras. Para el técnico de la empresa de servicios con flota mixta es más cómodo trabajar con una única aplicación informática en lugar de tener que aprender el manejo de dos diferentes que, aunque permitan la exportación de sus archivos de una a otra, complícan el aprendizaje y su uso diario.

3.2. Descarga de los archivos del Centro de Operaciones

Una vez que la empresa concede los permisos necesarios para establecer la conexión entre su Centro de Operaciones John Deere (COJD) y la plataforma AgFiniti, comienzan a descargarse de forma automática todos los archivos que se han subido al COJD desde el año que se establezca en la configuración. A partir de ahí, de cada nuevo archivo que la empresa sube al COJD se realiza una copia de forma automática e inmediata en la nube de AgFiniti. Este proceso funcionó de forma satisfactoria y permitió utilizar AgFiniti como una pasarela para descargar los archivos en el software SMS.

La descarga de los archivos de cosecha en el programa SMS desde AgFiniti también se realizó de una forma satisfactoria, aunque con problemas para ordenar correctamente los datos en el cliente, granja y campo correctos. Esto creemos que fue debido principalmente a carencias de la base de datos original creada por la empresa en el Centro de Operaciones. En campaña, al trabajar con múltiples operarios, se producen errores como documentar la información de una misma parcela con diferentes denominaciones, agrupar parcelas diferentes en un mismo

Figura 6. Datos en bruto obtenidos en una parcela de maíz forraje de 3,5 ha



archivo o utilizar nombres de campos y de granjas idénticos para distintos clientes, que después dificultan la correcta identificación de los archivos por parte del software SMS. La organización metódica de la base de datos es un requisito que se debe respetar escrupulosamente para después poder tener la información correctamente ordenada y poder gestionarla adecuadamente para la toma de decisiones. La utilización de un puente para traducir los archivos entre los formatos de las dos casas comerciales también pudo influir en esta incidencia.

Esta colocación incorrecta de algunos archivos obligó a realizar una primera edición de los mismos en el SMS. Las principales actuaciones consistieron en colocar los datos de cosecha en el cliente y campo correctos, separar parcelas que figuraban juntas en un mismo archivo o unir trozos de una misma parcela que aparecían en archivos diferentes. Mediante estos trabajos de edición se consiguieron obtener 365 archivos de datos (datasets) completos procedentes de la descarga automática desde el COJD por medio de la sincronización de AgFiniti y SMS. Solo 7 archivos (1,9 %) necesitaron ser descargados manualmente desde el COJD al no ser encontrados en el SMS.

Probablemente, estos archivos también fuesen correctamente descargados por el procedimiento automático de sincronización de SMS con AgFiniti, pero por los problemas de colocación en un cliente y campo incorrecto, no se haya podido encontrarlos.

3.3. Limpieza de los archivos de datos de rendimiento

Una vez organizados todos los archivos de datos en bruto de cosecha en el programa SMS, se procedió a

realizar su limpieza para eliminar los errores tomando como referencia el protocolo de procesado y limpieza establecido por Kharel *et al.* (2018). Para ello se procedió a exportar todos los archivos de datos en el formato Ag Leader Advanced (ALA) de archivo de texto (txt). Este es uno de los dos únicos formatos que admite el software Yield Editor, programa utilizado como referencia para aplicar los filtros para eliminar los errores que aparecen en los datos en bruto.

En los archivos en bruto se detectaron errores que generaban valores demasiado altos y demasiado bajos que, aunque no afectaban mucho al cálculo de la media de la producción obtenida en la parcela, si tenían una incidencia importante a la hora de delimitar las zonas de manejo de la parcela. Un ejemplo lo podemos ver en la figura 6, en la que se representan todos los datos de producción en bruto obtenidos en una parcela de maíz forrajero. Como vemos, se registran valores desde 0 hasta 380 toneladas de materia seca por hectárea, lo que con un contenido de materia seca medio del 35 % se corresponden con producciones en verde desde 0 hasta más de 1.200 toneladas por hectárea.

Al limpiar el archivo con los datos en bruto, se aplican una serie de filtros que eliminan estos datos no razonables que se apartan de una forma excesiva de las producciones medias de maíz forrajero. En la figura 7 (pág. sig.) podemos ver los datos limpios mediante el procedimiento MilloPreciso (MP) de la misma parcela de la figura 6 en la que comprobamos que los valores ya pasan a estar comprendidos entre las 2 y las 34 toneladas de materia seca por hectárea, sin que la media de la

producción varíe sustancialmente (de 14,07 a 13,92 t MS/ha).

Si obtenemos un mapa de rendimiento con zonas de manejo diferenciadas en función del potencial productivo, el hacerlo a partir de un archivo de datos en bruto o a partir de un archivo con los datos limpios sí que va a tener consecuencias importantes en el resultado. En la **figura 8** podemos ver un ejemplo de establecer tres zonas de manejo (baja, media y alta producción) en una parcela de 3,75 ha a partir de datos brutos y a partir de datos limpios con limpieza mediante el procedimiento MP. La superficie catalogada como de bajo potencial productivo en la zona sur de la parcela se aprecia que cambia a potencial medio tras el proceso de limpieza. En la zona norte, en cambio, se reduce la superficie de alto potencial productivo al eliminarse unos datos anómalos de producciones excesivas. En este ejemplo en primer lugar se han eliminado los datos de producción en verde de maíz forrajero con un contenido de humedad inferior al 46 % siguiendo lo aconsejado por el protocolo de Kharel *et al.* (2018). A continuación, en la limpieza MP se han eliminado los datos con producciones cuyos valores se apartan en ± 1 desviación típica (STD) de la media, con lo que desaparecen valores anómalos con producciones muy altas o muy bajas.

La consecuencia de este filtrado se puede apreciar con claridad en los rangos de las leyendas de las zonas con bajo y alto rendimiento de los dos mapas de la figura 8, donde los valores extremos de las producciones en toneladas de materia seca por hectárea desaparecen en el mapa con datos limpios. Como podemos observar, hay diferencias importantes en la delimitación de las zonas de

Figura 7. Datos limpios obtenidos en una parcela de maíz forrajero de 3,5 ha

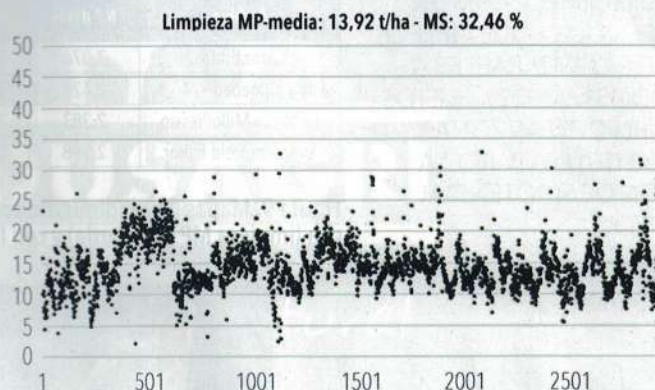
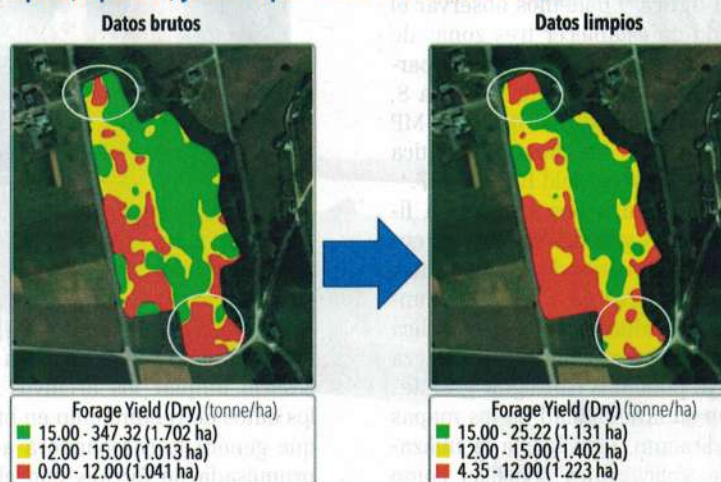


Figura 8. Mapas de rendimiento con tres zonas de manejo elaborados con un archivo sin limpiar (izquierda) y con limpieza MilloPreciso (derecha)



manejo de utilizar los datos en bruto a utilizar los datos después del proceso de limpieza.

Para comparar el procedimiento de limpieza desarrollado con el proyecto MilloPreciso, hemos utilizado como referencia el programa Yield Editor desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. La limpieza automática que ofrece la versión 2.07

de Yield Editor denominada AYCE (Automated Yield Cleaning Expert), utiliza hasta ocho filtros diferentes: humedad < 46 %, posición, retraso de medida de la producción, retraso de medida de la humedad, velocidades mínimas y máximas, producciones mínimas y máximas, solapes y ± 3 STD. Como vemos, se trata de un procedimiento más completo y complejo. ▶

TARICAPS[®] NF

1 bolo para 3 acciones. TARICAPS[®] NF permite satisfacer las diferentes necesidades de los animales a lo largo de todo el periodo de secado. Contiene núcleo anti galactógeno.

SELEFORM

Bolo dietético rico en lodo y antioxidantes. SELEFORM actúa en el estado inmune del ternero y refuerza la calidad del calostro. Indicado en casos de RCS elevados.

COLOVITAL

Mejora la vitalidad de los recién nacidos. COLOVITAL refuerza la inmunidad con calostro, vitaminas, oligoelementos y fermentos lácticos.

CALCIFORM

Reservado a vacas lecheras en el momento del parto. CALCIFORM es rico en calcio en 3 formas para evitar los riesgos de hipocalcemia.

ALTADIAR 4G

Sobre rehidratante efervescente. ALTADIAR 4G se administra a los animales que cursan procesos diarreicos o después de estos, cuando hace calor y a los caballos después del ejercicio.



DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO PARA ASTURIAS DE



DESCUBRA TODA NUESTRA GAMA DE PRODUCTOS EN NUESTRAS TIENDAS ASA

► EL PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA MILLOPRECISO ES UN MÉTODO SENCILLO, QUE OFRECE RESULTADOS COMPARABLES A LOS MÉTODOS MÁS COMPLETOS PARA ESTABLECER LAS ZONAS DE MANEJO DE UNA PARCELA EN FUNCIÓN DE SU POTENCIAL PRODUCTIVO

En la **figura 9** podemos observar el resultado de establecer tres zonas de manejo diferenciado en la misma parcela de maíz forrajero de la figura 8, utilizando el método de limpieza MP y el método de limpieza automática AYCE del software Yield Editor 2.07.

Como podemos observar en la figura 9, no hay grandes diferencias entre el procedimiento de limpieza más simple (MilloPreciso) y el más completo (Yield Editor), lo que nos indica que con un procedimiento de limpieza básico ya podemos conseguir grandes mejoras en la fiabilidad de los mapas de rendimiento. Esto facilita la utilización de aplicaciones sencillas como MilloPreciso por parte de las empresas de servicios para la limpieza de sus archivos con datos de rendimiento.

En la **tabla 1** se muestran los resultados del proceso de limpieza sobre los datos brutos de partida de la parcela de 3,75 ha utilizada en las figuras 8 y 9. La combinación de descartar los datos con un contenido de humedad inferior al 46 % junto con la limpieza MilloPreciso o automática con el programa Yield Editor eliminó el 23 % (MP) al 29 % (Yield Editor) de los datos, aumentando el rendimiento medio y disminuyendo el contenido medio de materia seca.

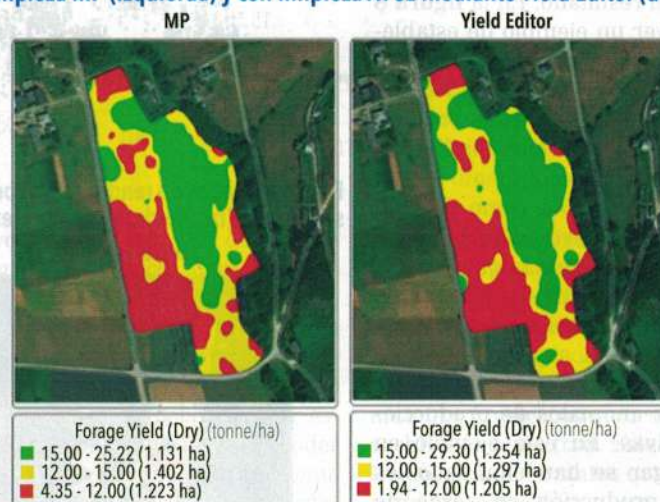
4. CONCLUSIONES

- Los primeros análisis de los datos de producción registrados por las cosechadoras autopropulsadas de forraje en el noroeste de España permiten intuir el gran potencial que su correcta interpretación puede tener para la optimización de la aplicación de insumos en las parcelas.
- Para la correcta delimitación de las zonas de manejo diferencia-

Tabla 1. Procesos de limpieza realizados

Archivo	N.º datos	MV t/ha	MS t/ha	MS %	Datos eliminados	% eliminados
Datos brutos	3.076	31,62	13,22	45,89	0	0 %
Filtro humedad < 46 %	2.428	33,95	13,62	40,65	648	21 %
Limpieza MilloPreciso	2.383	33,88	13,59	40,64	693	23 %
Limpieza Yield Editor	2.198	34,03	13,64	40,51	878	29 %

Figura 9. Mapas de rendimiento con tres zonas de manejo elaborados con un archivo con limpieza MP (izquierda) y con limpieza AYCE mediante Yield Editor (derecha)



do dentro de una parcela es necesario limpiar los archivos con los datos de rendimiento en bruto que genera la cosechadora autopropulsada de forraje, con el fin de eliminar los errores que contienen y obtener mapas de rendimiento fiables.

- El procedimiento de limpieza MilloPreciso es un método sencillo, que ofrece resultados comparables a los métodos más completos para establecer las zonas de manejo de una parcela en función de su potencial productivo.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto "GO MilloPreciso-Agricultura de Precisión con maíz forrajero en Galicia", financiado por las ayudas para la ejecución de proyectos de los grupos operativos de la Asociación Europea de la Innovación (AEI), cofinanciadas en un 75 % con el Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (Feader) en el marco del Programa de Desarrollo Rural (PDR) de Galicia 2014-2020, con fondos propios de la Xunta de Galicia en un 22,5 % y con fondos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en un 2,5 %. La Consellería del Medio Rural es el órgano de la Administración

gallega a la que le corresponde proponer y ejecutar las directrices generales en el ámbito rural, y engloba las competencias en materia de agricultura, ganadería, desarrollo rural y ordenación comarcal, estructuras rurales, industrias agroalimentarias y forestales, montes, prevención y defensa de los incendios forestales.

También ha contribuido en el presente estudio el proyecto colaborativo del Campus Terra "AgriPreMaF-Agricultura de Precisión con Maíz Forrajero", financiado en el marco del convenio de colaboración entre la USC y la Consellería de Cultura, Educación y Universidad de la Xunta de Galicia.

Gracias, por último, a las empresas de servicios Agropres SL y Marcos Otero SL por su colaboración en estos dos proyectos. ■

REFERENCIA

1. Kharel T., Swink S.N., Youngerman C., Maresma A., Czymmek K.J., Ketterings Q.M., Kyveryga P., Lory J., Musket T.A., and Hubbard V. (2018). Processing/Cleaning Corn Silage and Grain Yield Monitor Data for Standardized Yield Maps across Farms, Fields, and Years. Cornell University, Nutrient Management Spear Program, Department of Animal Science, Ithaca NY.



Millo preciso



 Javier Bueno Lema

 javier.bueno@usc.es

 982 823 219

 Universidad de Santiago de Compostela
Departamento de Ingeniería Agroforestal
Escuela Politécnica Superior de Ingeniería
Campus Terra - Lugo

Agricultura de Precisión con maíz forrajero en Galicia



¿Qué es MILLOPRECISO?

MILLOPRECISO es un **Grupo Operativo gallego** que busca el desarrollo de la **agricultura de precisión en Galicia en el cultivo del maíz forrajero**. Esta técnica permite una **gestión más eficiente de los recursos agrícolas** mejorando la productividad de los cultivos mediante el análisis de datos recogidos durante todo el ciclo productivo del cultivo.

MILLOPRECISO se centra en el desarrollo de un **sistema de limpieza de los mapas de rendimiento del cultivo** para **depurar los datos** recolectados por las cosechadoras autopropulsadas de forraje. Esto permitirá **optimizar la elaboración de prescripciones para realizar aplicaciones a dosis variables de semillas** y fertilizantes en el cultivo del maíz forrajero.



Participantes



Marcos Otero SL., empresa de servicios de maquinaria agrícola con sede en As Pontes de García Rodríguez , consta de un parque de maquinaria de 8 tractores, 3 cosechadoras autopropulsadas de forraje, 4 vehículos de apoyo y 46 equipos de laboreo, siembra, fertilización, aplicación de fitosanitarios y recolección de forraje.



El grupo Biomodem (Modelización, Energía y Mecanización en Biosistemas, con 26 años de experiencia en la ejecución de proyectos de I+D+i, pertenece a la Universidad de Santiago de Compostela. Su sede principal reside en el Campus Terra en Lugo. Su ámbito de investigación se centra en la agricultura de precisión y el desarrollo sostenible del mundo rural.



Participantes



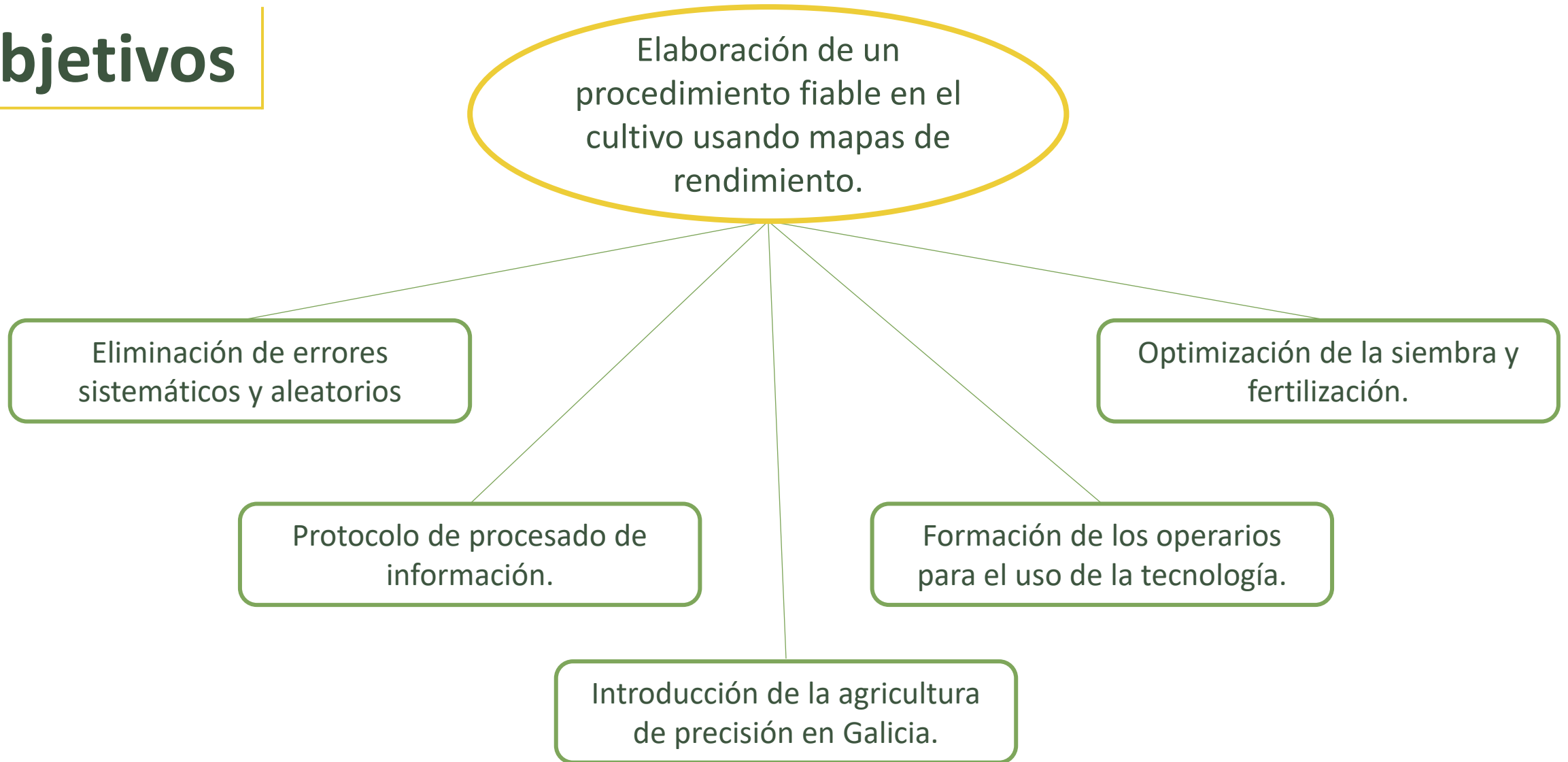
Esta ganadería posee sobre 100 vacas en ordeño y siembra anualmente unas 24 hectáreas de maíz forrajero repartidas en 6 parcelas distintas. Mediante este la implantación de nuevas técnicas de este proyecto de innovación, LADRELA desea ajustar sus costes de producción de forraje optimizando la siembra y fertilización.



Con 40 años de experiencia en la promoción y coordinación de proyectos regionales, nacionales y europeos, FEUGA actúa como agente de innovación realizando la coordinación/colaboración en actividades y/o paquetes de trabajo de difusión y comunicación, explotación de resultados, diseño e implementación de nuevas metodologías de transferencia y enfoque multifactor.



Objetivos



Destinatarios



Productores de
maíz forrajero



Granjas, cooperativas
y explotaciones de vacuno
de leche



Granjas y cooperativas
ganaderas



Centros tecnológicos, centros
de investigación
y universidades



Plataformas tecnológicas



Empresas de servicios



Administraciones públicas
relacionadas con la ganadería,
el medio ambiente o el
desarrollo rural



Consumidores y
público en general

Actividades

1



Documentación de las labores de laboreo, abonado, siembra y tratamientos fitosanitarios. Documentación de la cosecha de las parcelas.

2



Instalación y puesta a punto del equipo informático de procesado y gestión de datos y procesado de información.

3



Procesado de los archivos generados por los tractores y cosechadoras para la generación de los mapas de abonado, siembra y tratamientos fitosanitarios; y mapas de rendimiento.

4



Elaboración de los **mapas de prescripción y guías de buenas prácticas** para cada parcela.



5

Divulgación y transferencia de los resultados y avances del proyecto.



Actividades y materiales de divulgación

Carteles

Infografías

Trípticos

Notas de prensa, noticias, entrevistas

Artículos y publicaciones

Audiovisuales

Guías de buenas prácticas

Innovation factsheets



Cartel del proyecto



Póster

Redes sociales del proyecto:

- **Twitter:** <https://twitter.com/GOMillopreciso>
- **LinkedIn:** www.linkedin.com/company/grupo-operativo-millopreciso
- **Facebook:** www.facebook.com/people/Grupo-Operativo-Millopreciso/100087769772364/



1. Introducción

Grupo de I+D+i BioMODEM (GI-1720) de la USC en la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería del Campus Terra (Lugo). 11 IPs + colaboradores

Ámbitos de Investigación:

Smart Farming y desarrollo sostenible del mundo rural.

Organizados en 3 áreas temáticas: **Mecanización**, Energía y Modelización

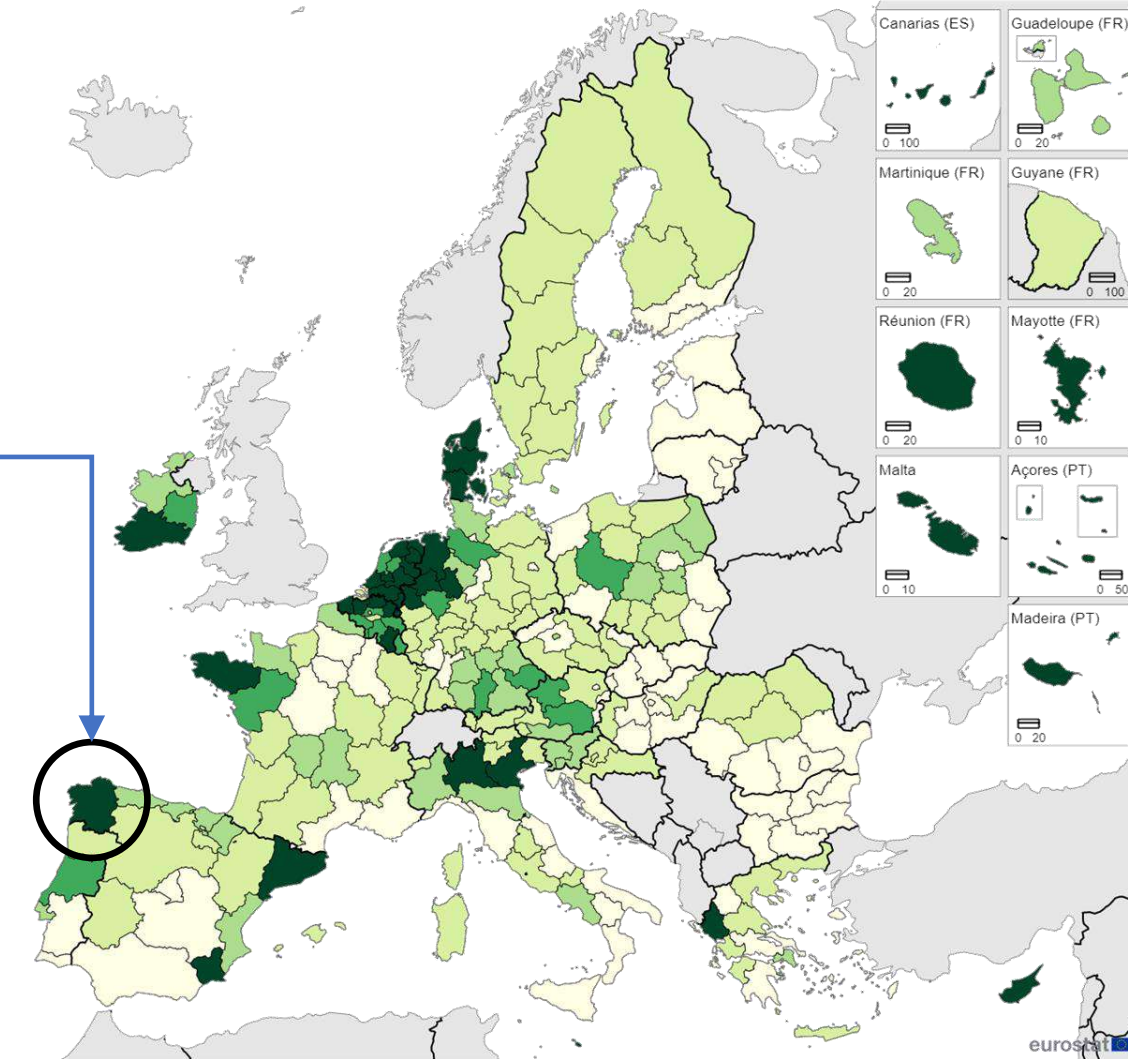
Mecanización:

Agricultura y Ganadería de Precisión, automatización, robótica

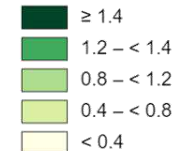


1. Introducción

- El maíz forrajero (*Zea mays* L.) es el cultivo de verano más importante en las zonas ganaderas
- 120.101 ha en 2022, 71.824 ha (60%) en Galicia
- Las cosechadoras de forraje autopropulsadas tienen sensores que miden la producción de forraje y el contenido de humedad. Los mapas de rendimiento se pueden obtener georreferenciando estos datos con las posiciones calculadas por un receptor GNSS situado sobre la cabina.



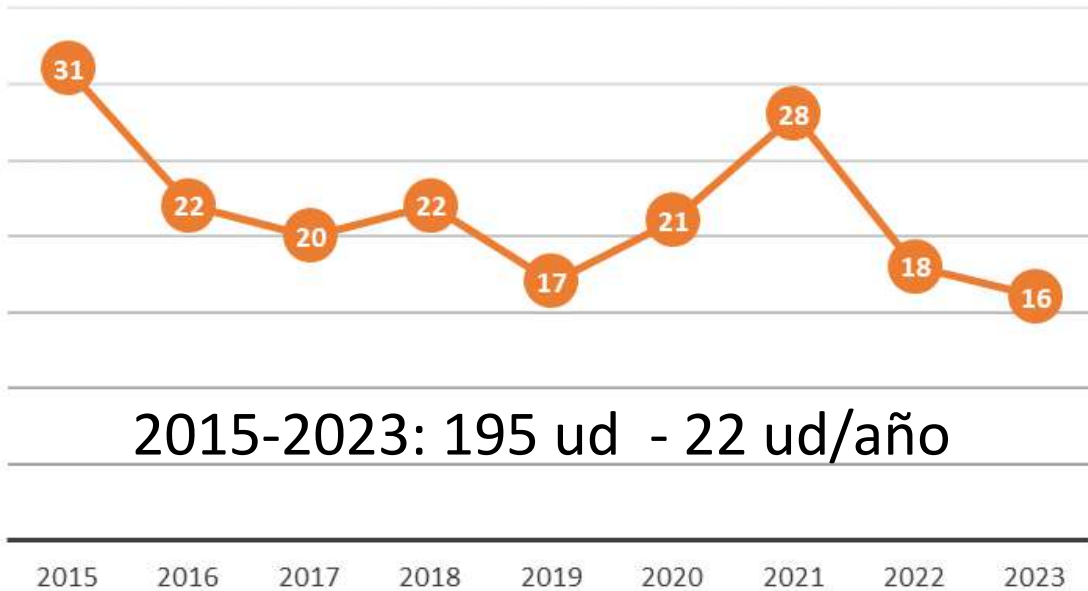
Livestock units (LU) per ha of UAA



Administrative boundaries: © EuroGeographics © IIN-FAO © Turstat
Cartography: Eurostat – IMAGE, 01/2023

1. Introducción

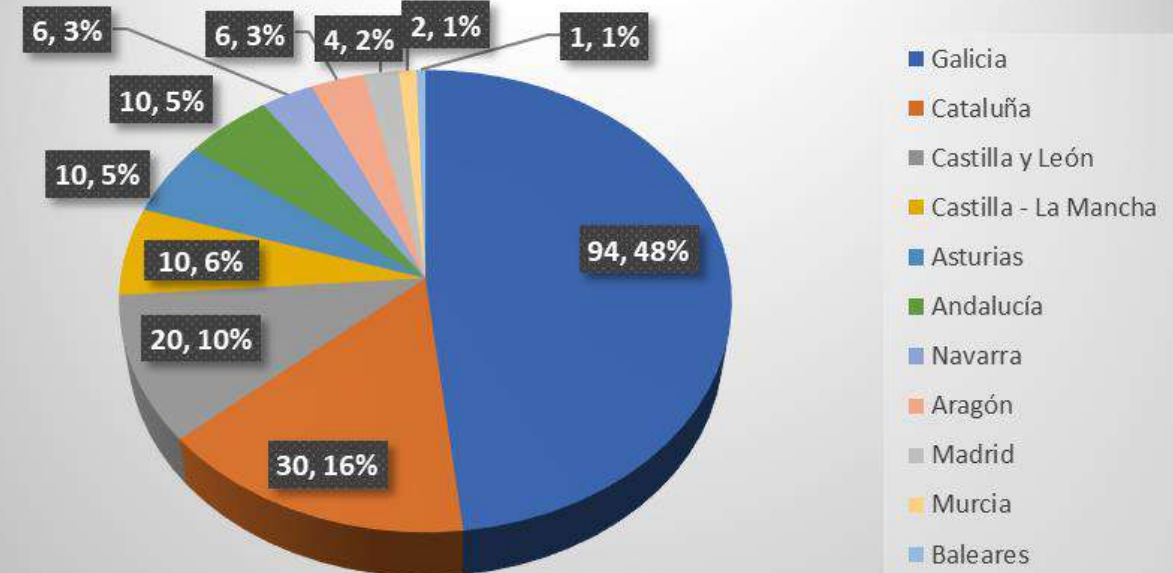
Cosechadoras autopropulsadas de forraje nuevas



2015-2023: 195 ud - 22 ud/año

2ª mano (2023): 62

Cosechadoras autopropulsadas de forraje 2015-2023: 195

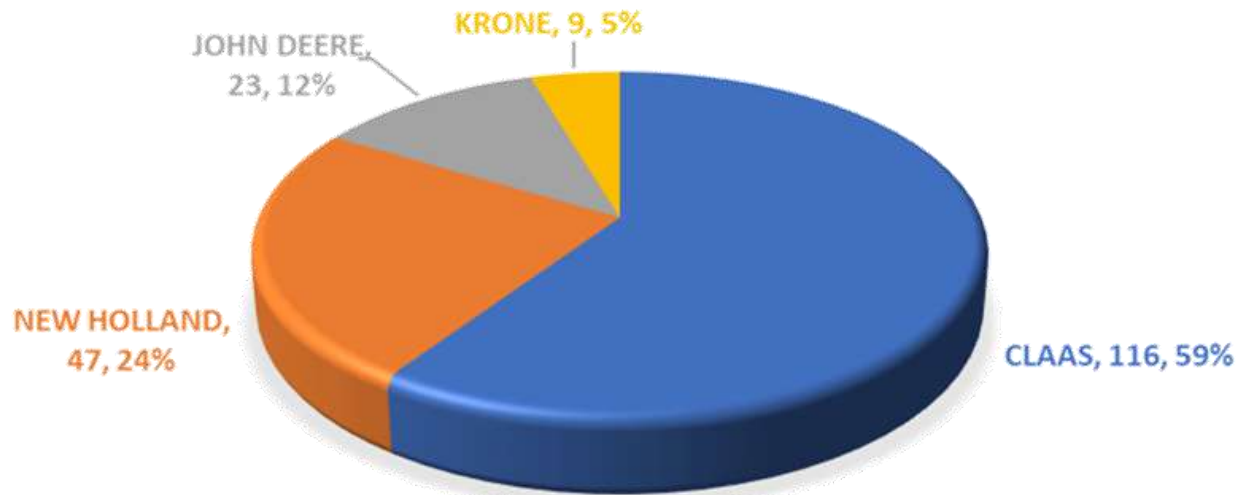


1. Introducción

Inter-operabilidad



Cosechadoras autopropulsadas de forraje 2015-2023

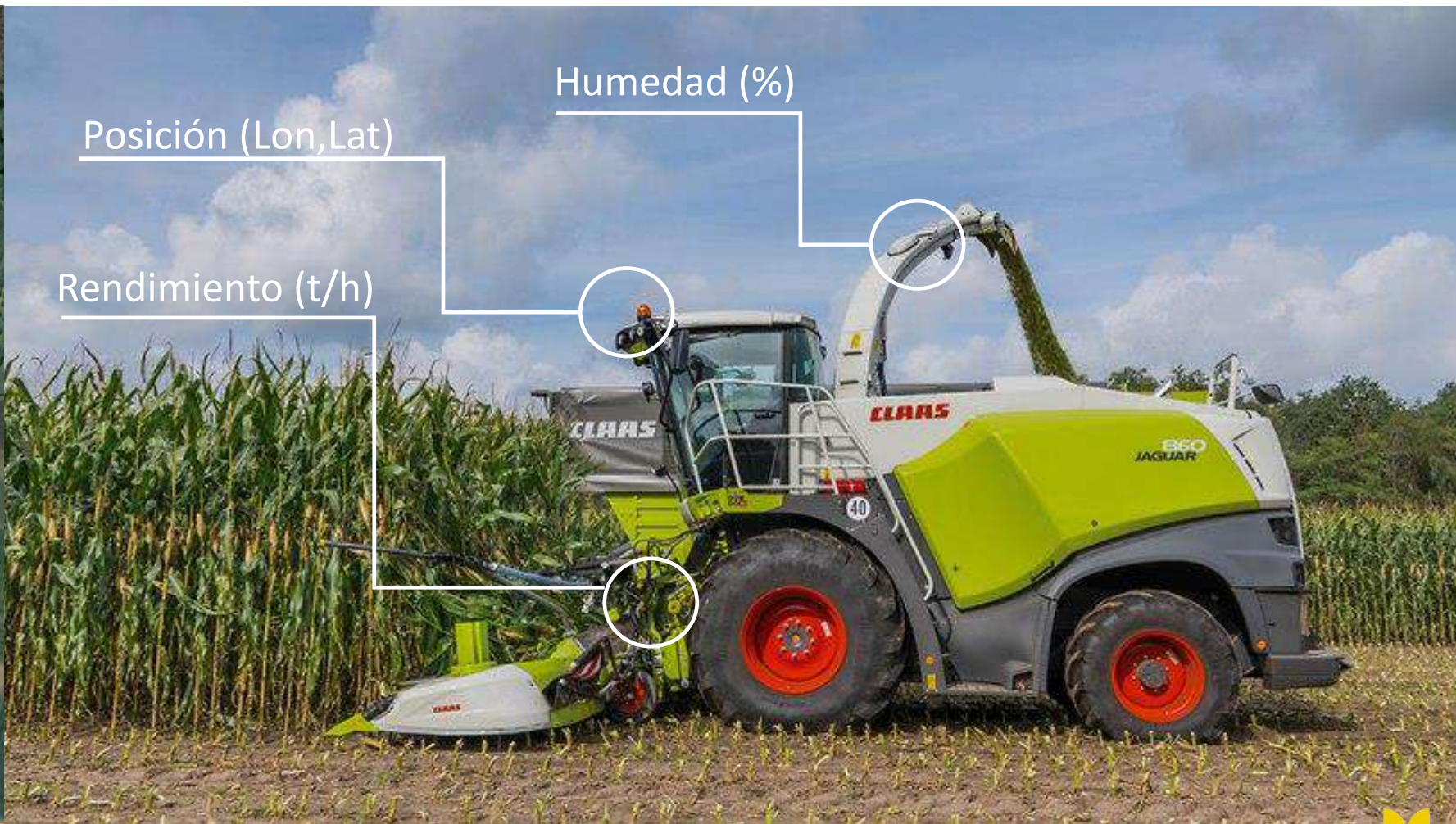


JOHN DEERE	21,8
NEW HOLLAND	13,1
FENDT	7,1
DEUTZ-FAHR	5,7
KUBOTA	5,7
CASE IH	5,6
CF MOTO	4,5
VALTRA	4,2
MASSEY FERGUSON	4,0
LANDINI	3,3
SOLIS	2,3
CLAAS	2,3
RESTO DE MARCAS	20,3



1. Introducción

Inter-operabilidad



1. Introducción

Inter-operabilidad



2. Sensores

Se equiparon 2 cosechadoras autopropulsadas de forraje con los equipos necesarios para documentar el rendimiento durante la recolección del maíz forrajero



Claas Jaguar 980

Claas Jaguar 970



**AGRÍCOLA
CURTIS**



**AGRÍCOLA
NOROESTE**



Xacobeo 21-22



Fondo Europeo Agrícola de Desenvolvemento Rural:
Europa inviste no rural



2. Sensores



Doble sistema de adquisición de datos

Receptores GNSS



Monitor JD

Puente

Modem

2. Sensores

- Sensor de Humedad/MS: conductividad eléctrica
- Sensor de Rendimiento: potenciómetro en los rodillos de alimentación



**AGRÍCOLA
CURTIS**



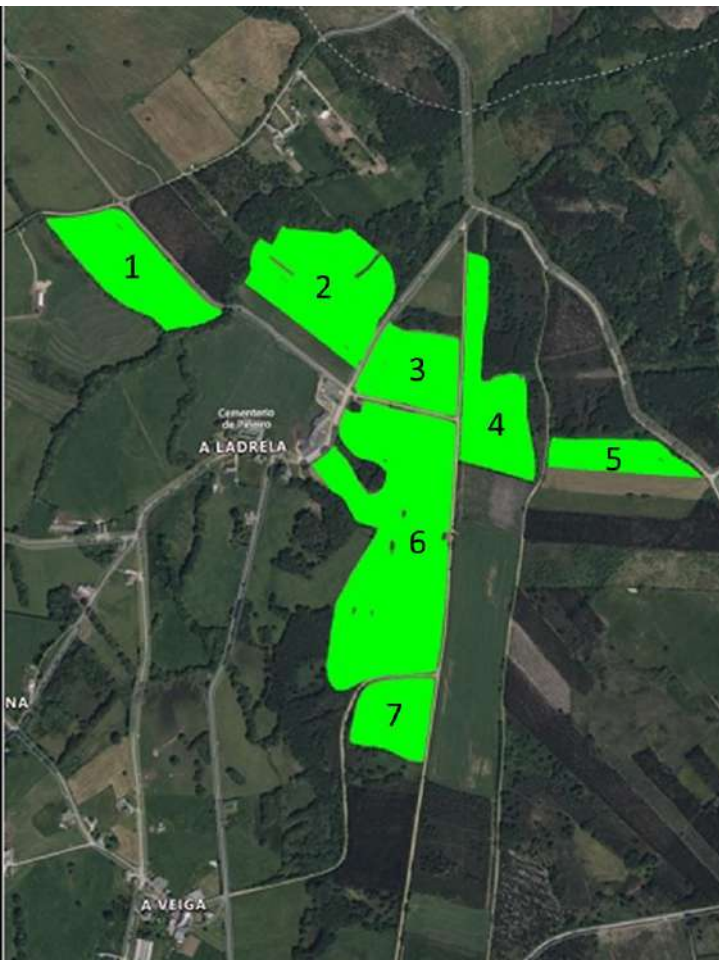
2. Sensores

Calibración de medidas del rendimiento y humedad



2. Sensores

Calibración de medidas del rendimiento y humedad



2023:72 remolques, 852.61 t, 7 parcelas, 24 ha

3. Datos e información



3. Datos e información

Centro de Operaciones MILLOPRECISO

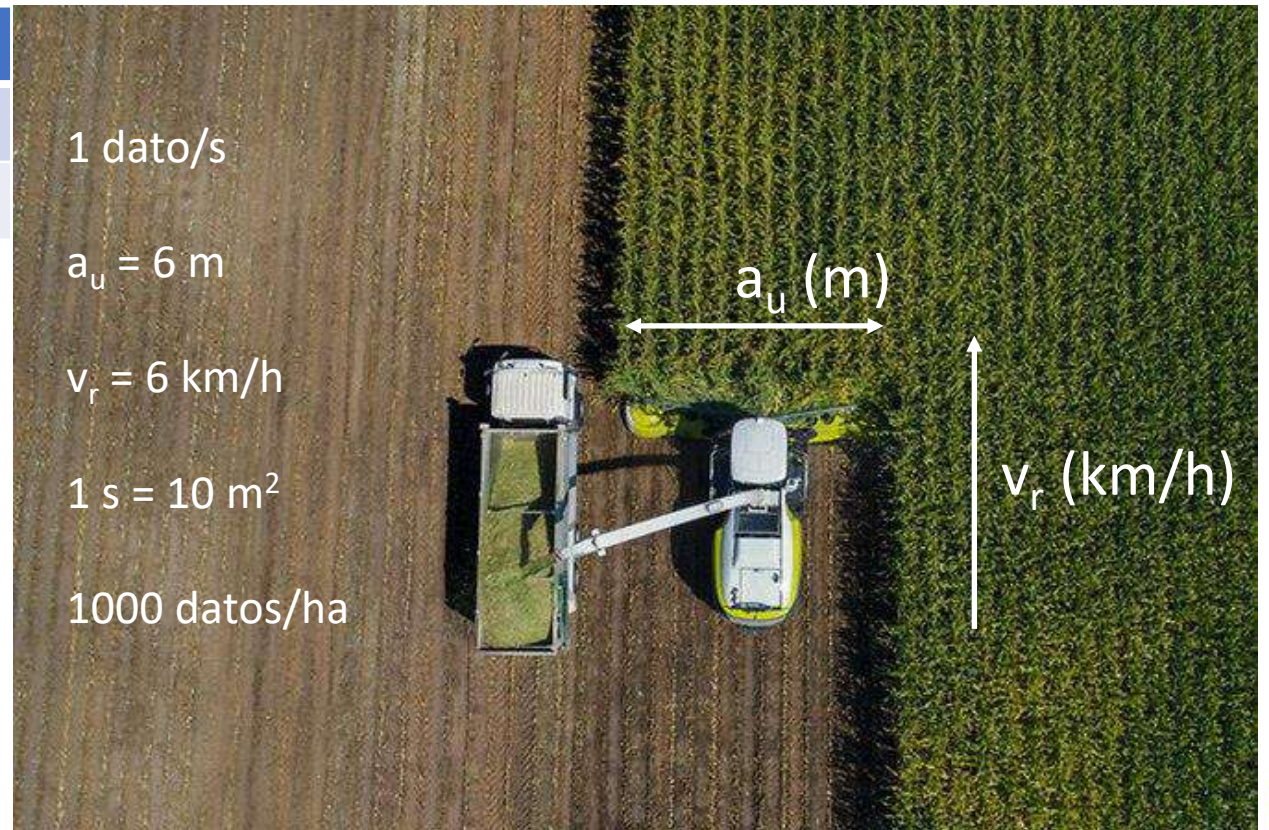


3. Datos e información

$$\text{Rendimiento (t/ha)} = \frac{\text{Flujo de forraje (t/h)}}{0,1 \times a_u \text{ (m)} \times v_r \text{ (km/h)}}$$

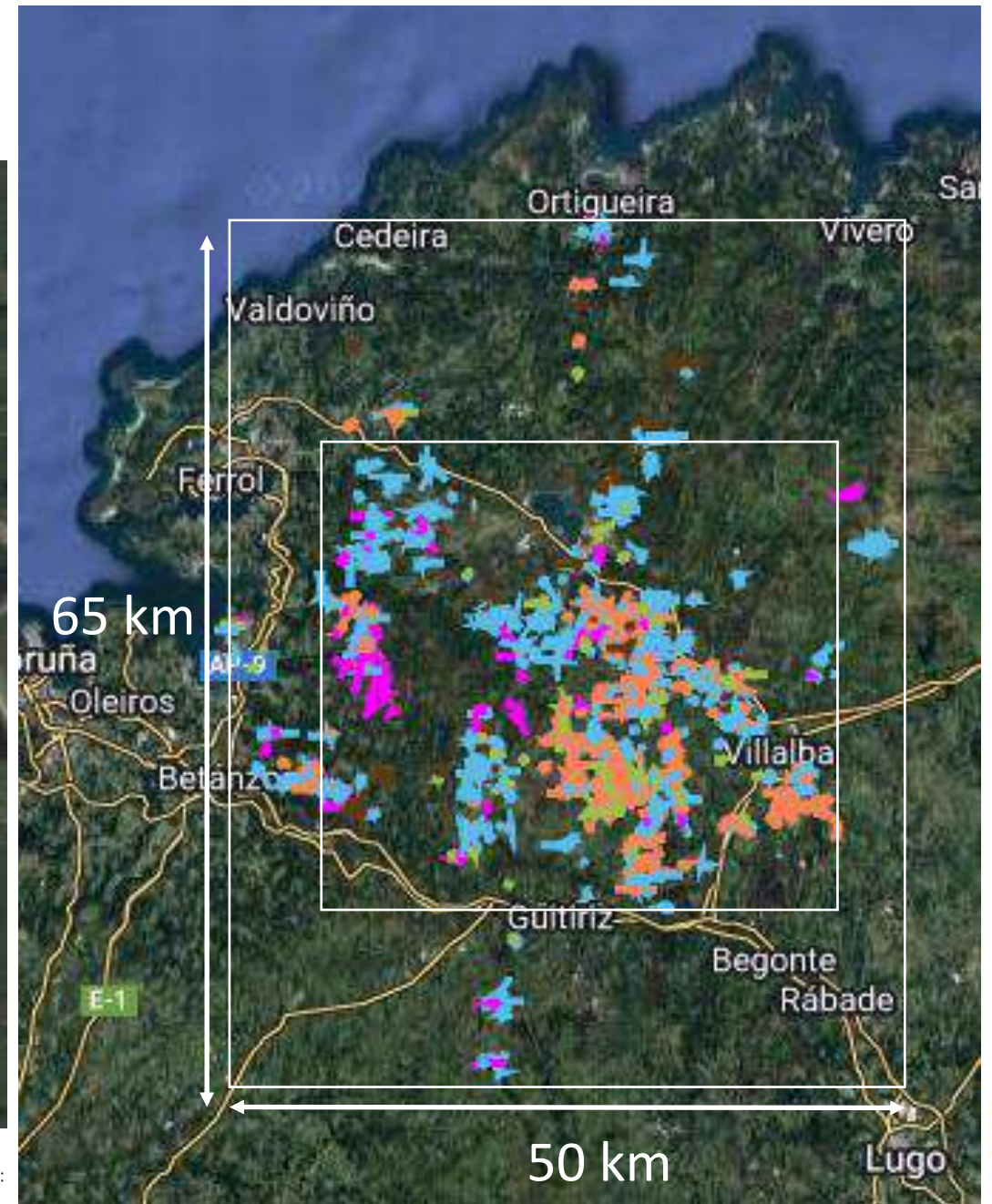
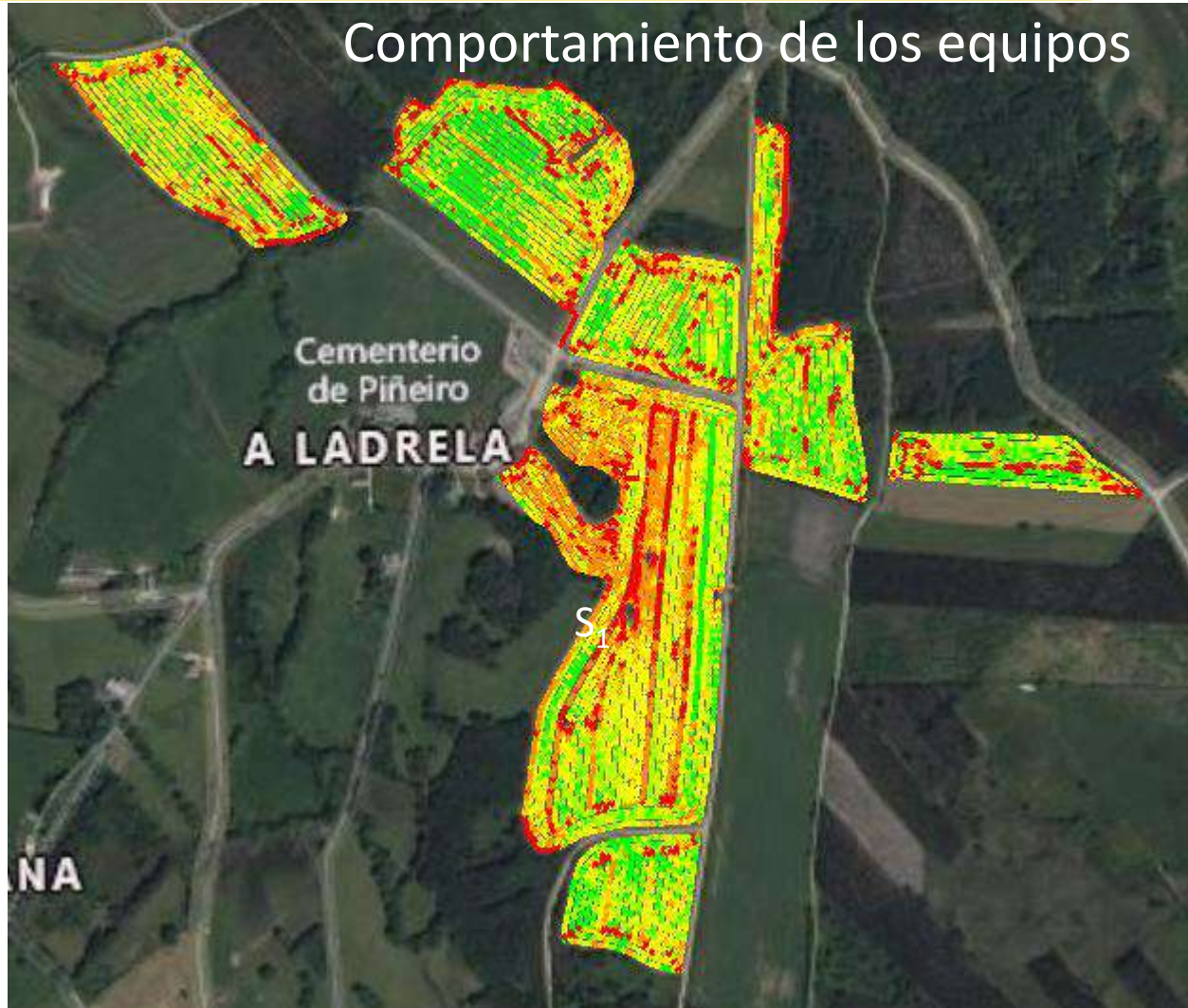
Campaña 2023

Empresa	Archivos	Hectáreas	S < 10 ha	S < 1 ha
1	622	1065.94	98.9%	56%
2	704	987.72	99.7%	50%



3. Datos e información

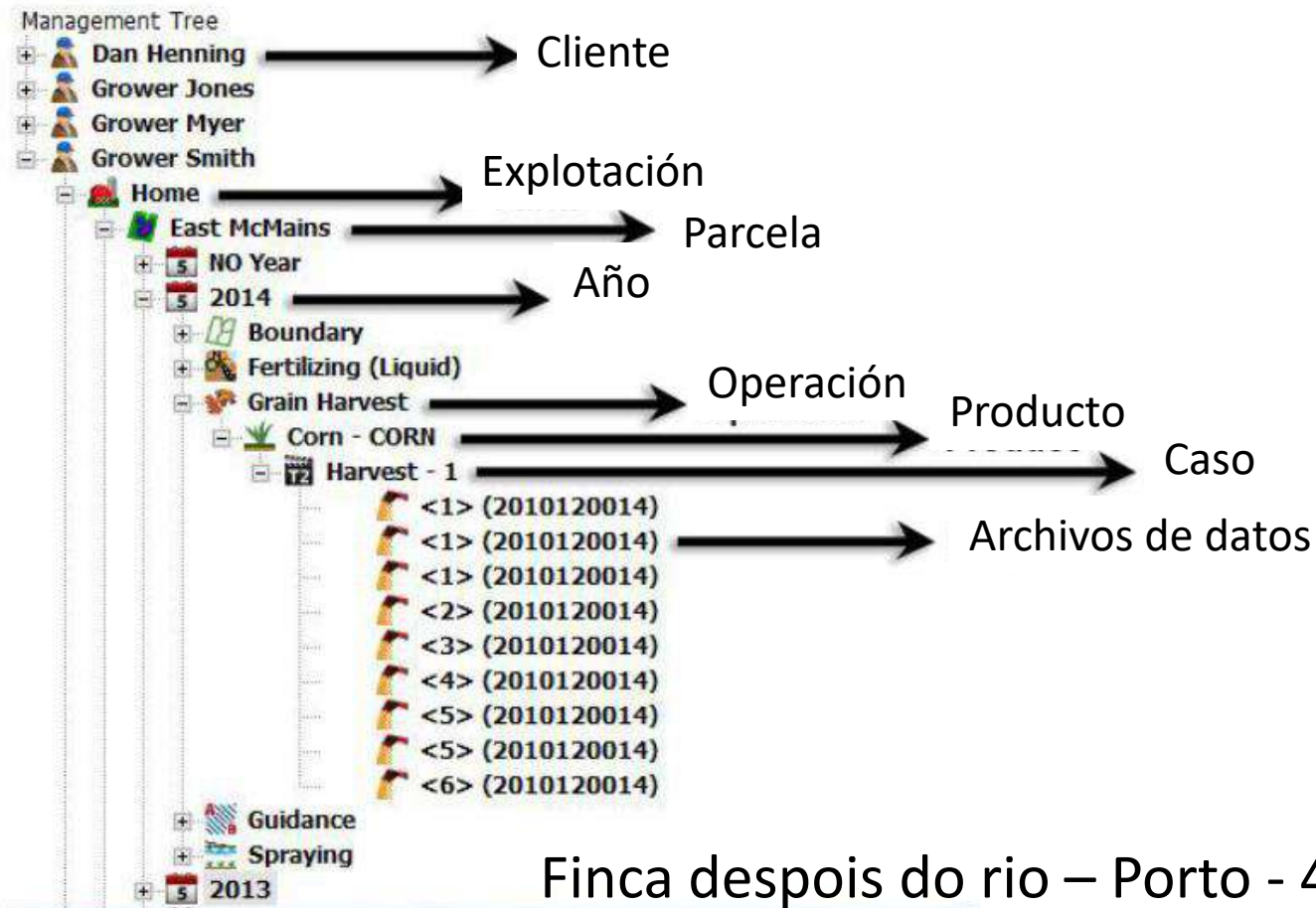
Comportamiento de los equipos



3. Datos e información

Descarga de los archivos del Centro de Operaciones

Orden en la organización de los datos



Finca despois do río – Porto - 4



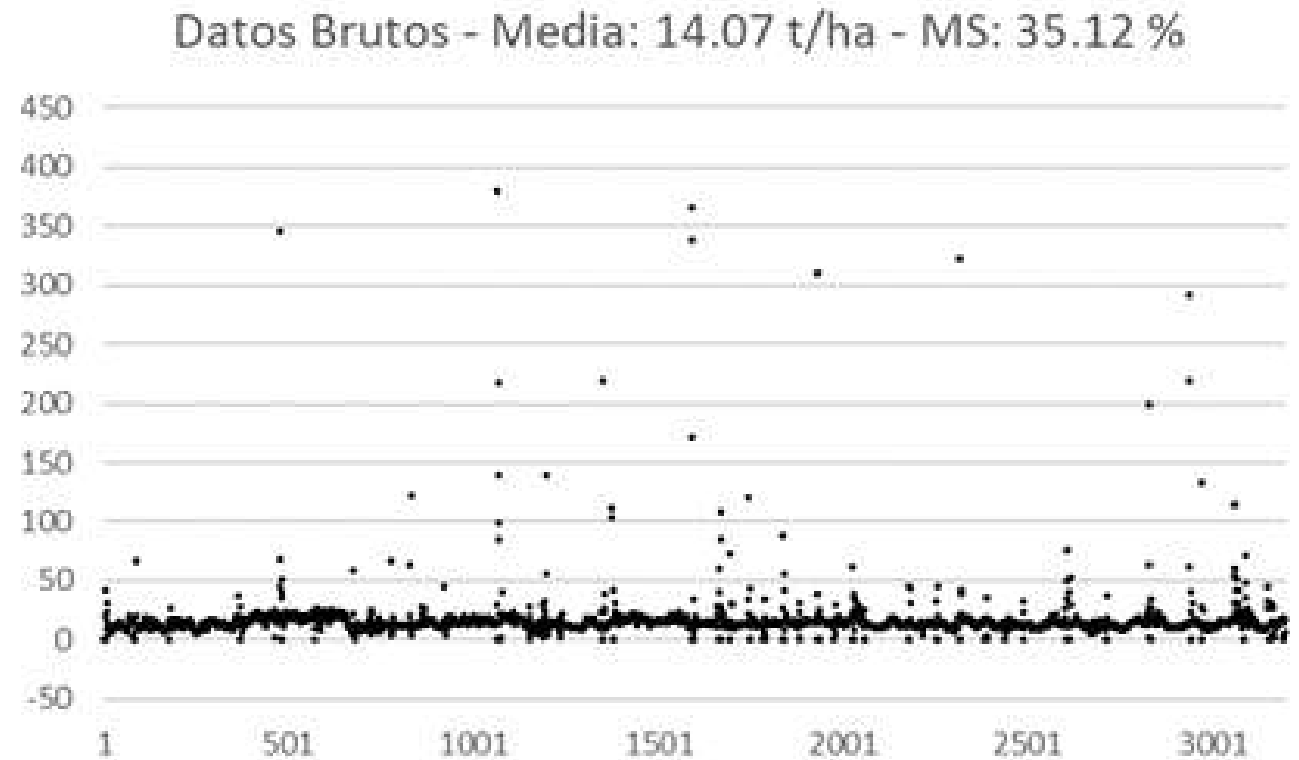
4. Limpieza de mapas

Los archivos con datos de rendimiento SIEMPRE CONTIENEN ERRORES

Los archivos de datos de rendimiento de cosechadoras de forraje contienen MÁS ERRORES que los de cosechadoras de grano:

- Sistema de medida del flujo menos preciso
- Producto más heterogéneo
- Mayor dispersión de los datos

Limpieza de los archivos de datos de rendimiento



Campo triángulo autovía 3.5 ha
Desde 0 a 379.84 t/ha de MS
Desde 0 a 1266.13 t/ha de MV

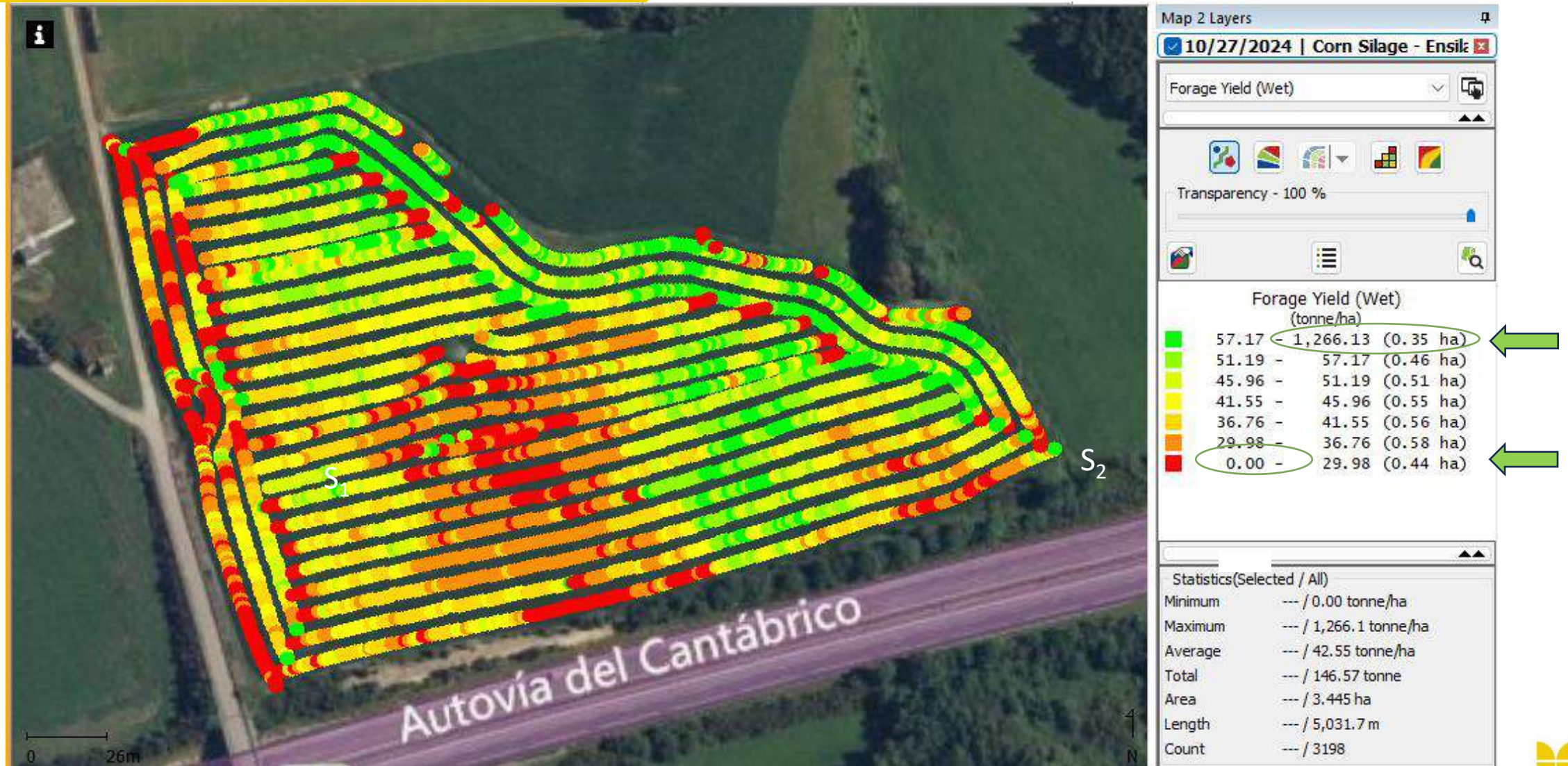
4. Limpieza de mapas

Limpieza de los archivos de datos de rendimiento



4. Limpieza de mapas

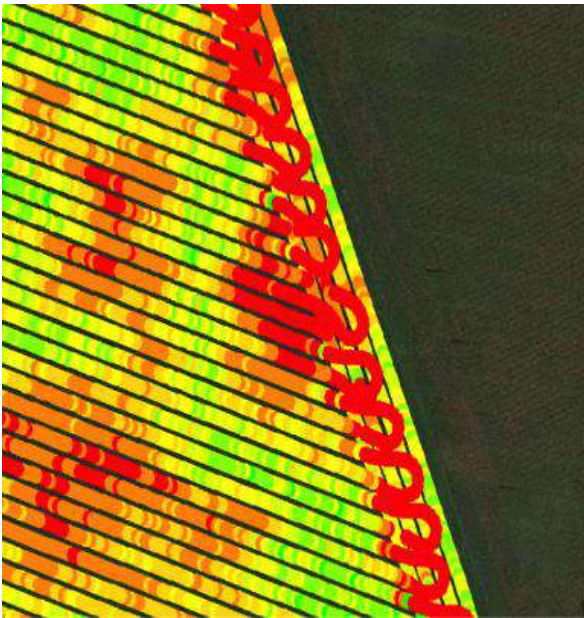
Limpieza de los archivos de datos de rendimiento



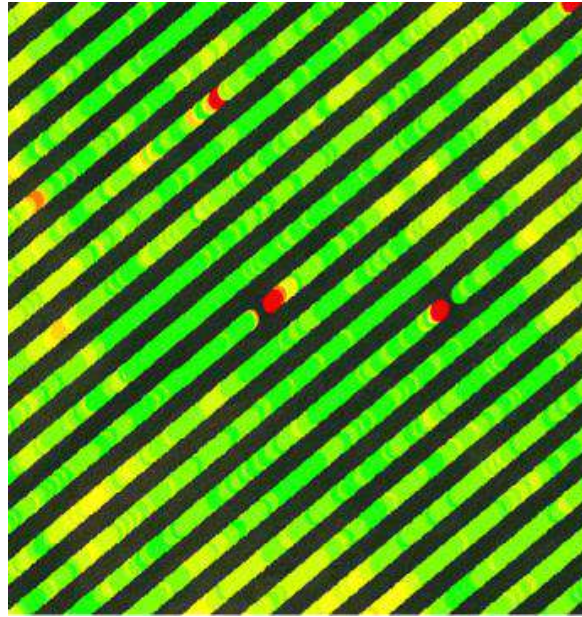
4. Limpieza de mapas

Limpieza de los archivos de datos de rendimiento
Errores habituales

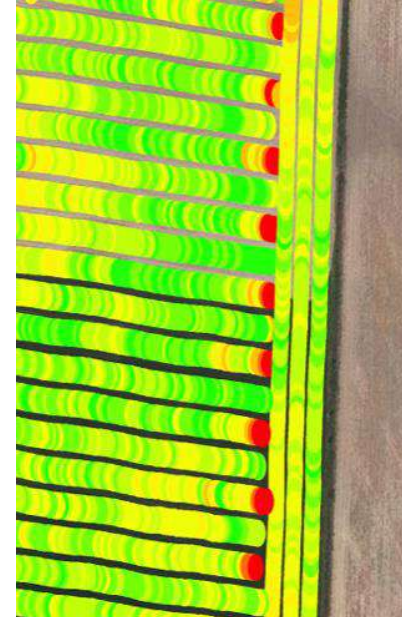
Altura incorrecta del cabezal



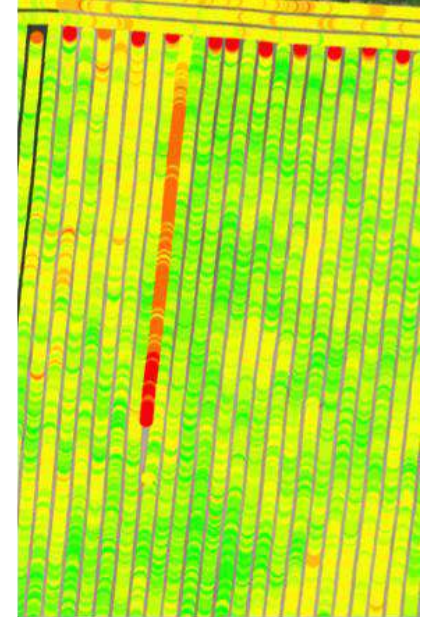
Paradas y re-arranques



Retrasos en la medida



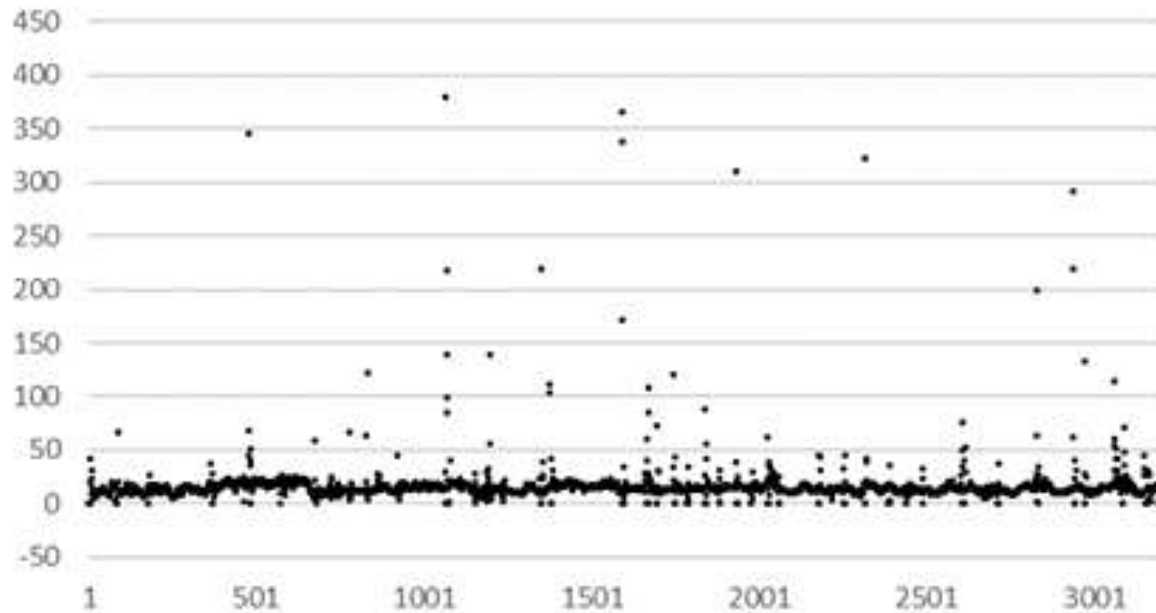
Ancho de corte incorrecto



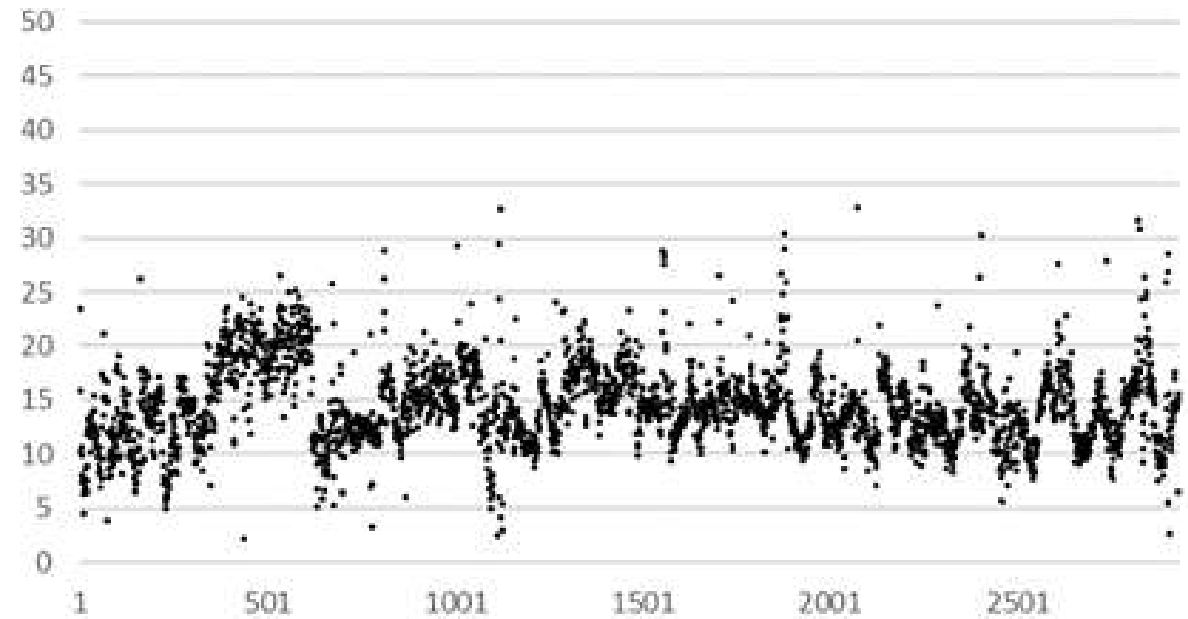
4. Limpieza de mapas

Limpieza de los archivos de datos de rendimiento

Datos Brutos - Media: 14.07 t/ha - MS: 35.12 %

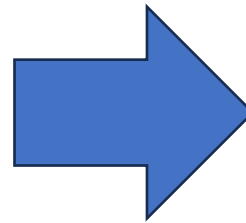
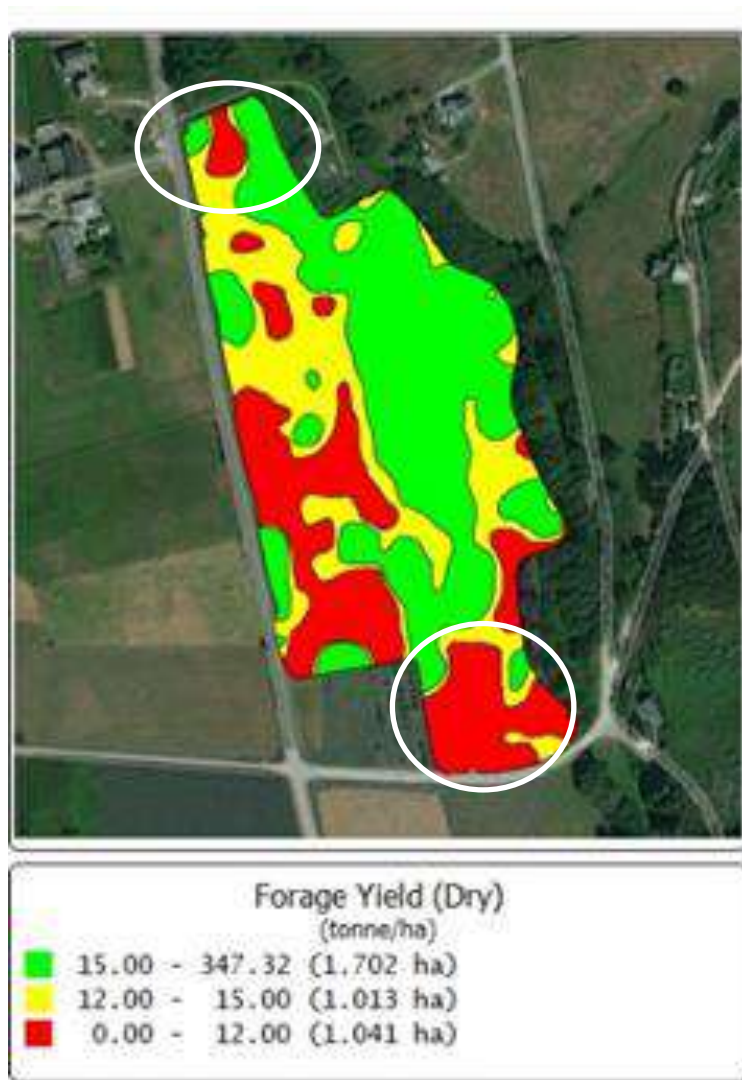


Limpieza MP - Media: 13.92 t/ha - MS: 32.46 %

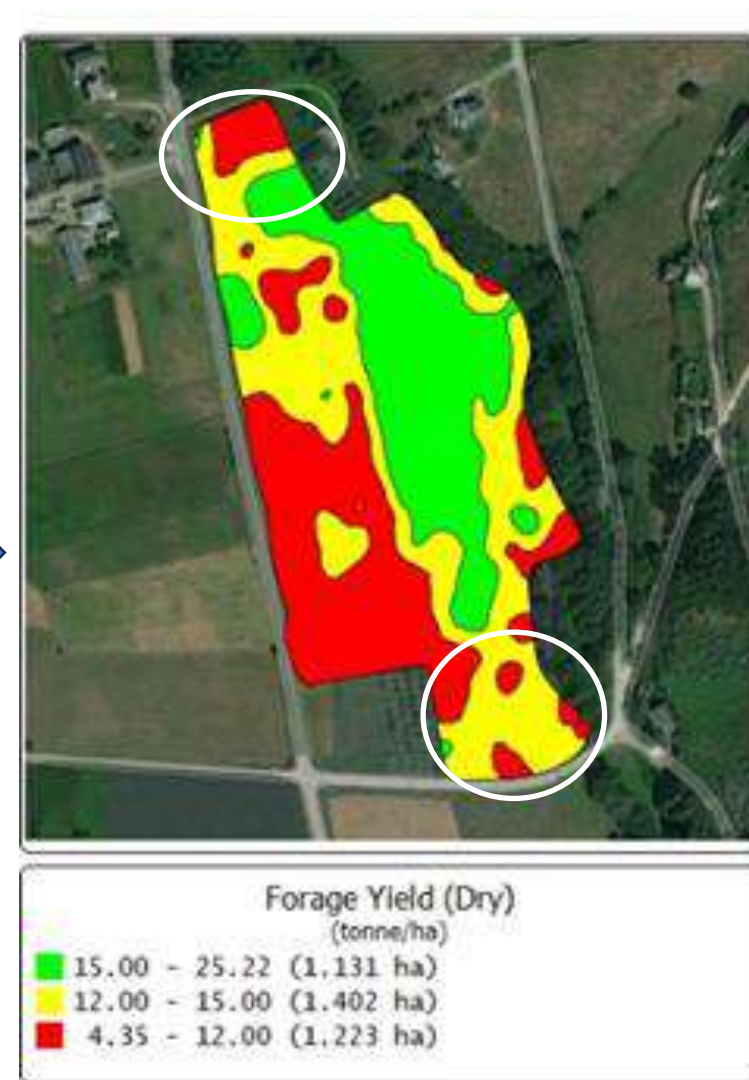


Campo triángulo autovía – 3.5 ha

Datos brutos



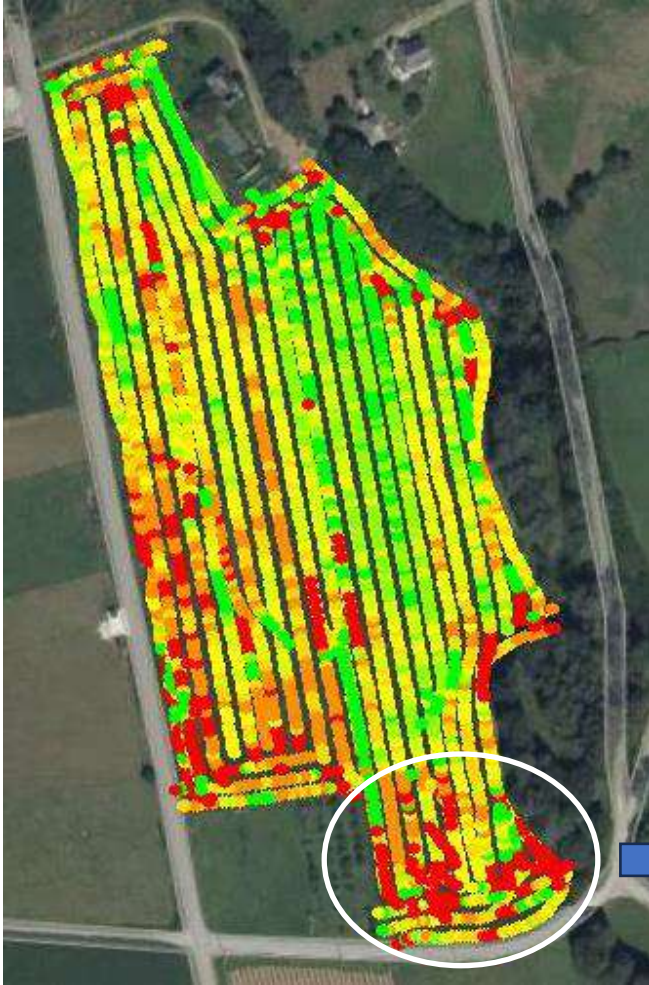
Datos limpios



Campo 20 - 3.75 ha

4. Limpieza de mapas

Limpieza de los archivos de datos de rendimiento
Ej. Puntos duplicados y con baja producción



Datos ≤ 1 t MS/ha

Datos ≤ 2.5 t MV/ha



4. Limpieza de mapas

Limpieza de los archivos de datos de rendimiento
Ej. Puntos duplicados y con alta producción



Datos ≥ 50 t MS/ha

Datos ≥ 125 t MV/ha



MP

Yield Editor

2 Filtros:
%H < 46%
+/- 1 STD



8 Filtros:

%H < 46%

Posición

Retraso producción

Retraso humedad

Vel. min y max

Prod. min y max

Solapes

+/- 3 STD

Campo 20 - 3.75 ha



MP

2 Filtros:
 $\%H < 46\%$
 $\pm 1 \text{ STD}$



TELUS - JDOC



ZONA		INTERVALO	
☐	1	3.3 - 12 t/ha	0.961 ha
☐	2	12 - 15 t/ha	1.652 ha
☒	3	15 - 18.43 t/ha	1.143 ha

Campo 20 - 3.75 ha

5. Zonas de manejo

4 PASOS para convertir los datos en información útil

1

Limpieza de los archivos de datos de rendimiento

2

Mapas anuales de zonas de manejo

3

Análisis multi-año de las zonas de manejo (mínimo 3 campañas)

4

Mapa de prescripción (siembra, abonado)



agropres
comercial

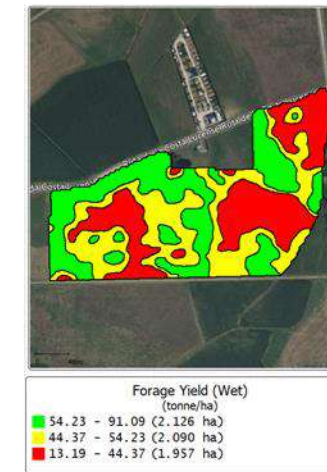
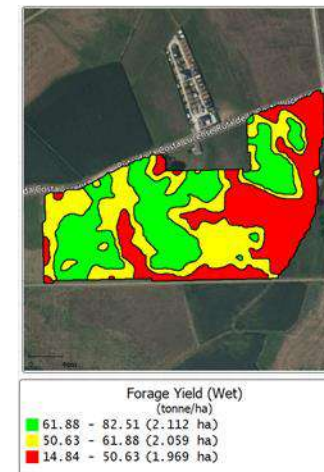
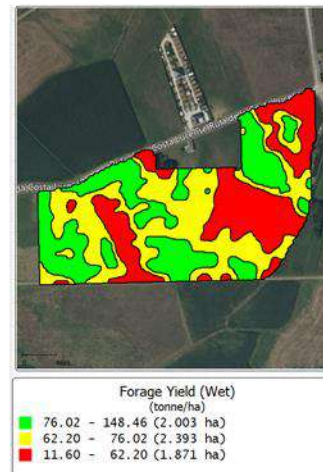
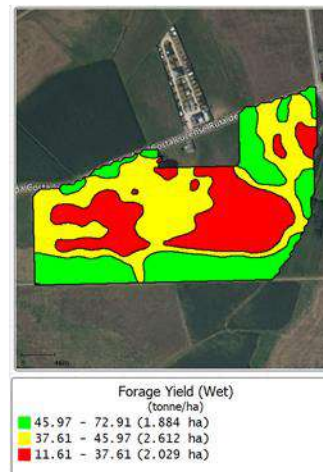


5. Zonas de manejo

1

Limpieza de los archivos de datos de rendimiento
Limpieza MP: 2 filtros ($H < 46\%$, ± 1 STD)

Datos brutos



Datos limpios

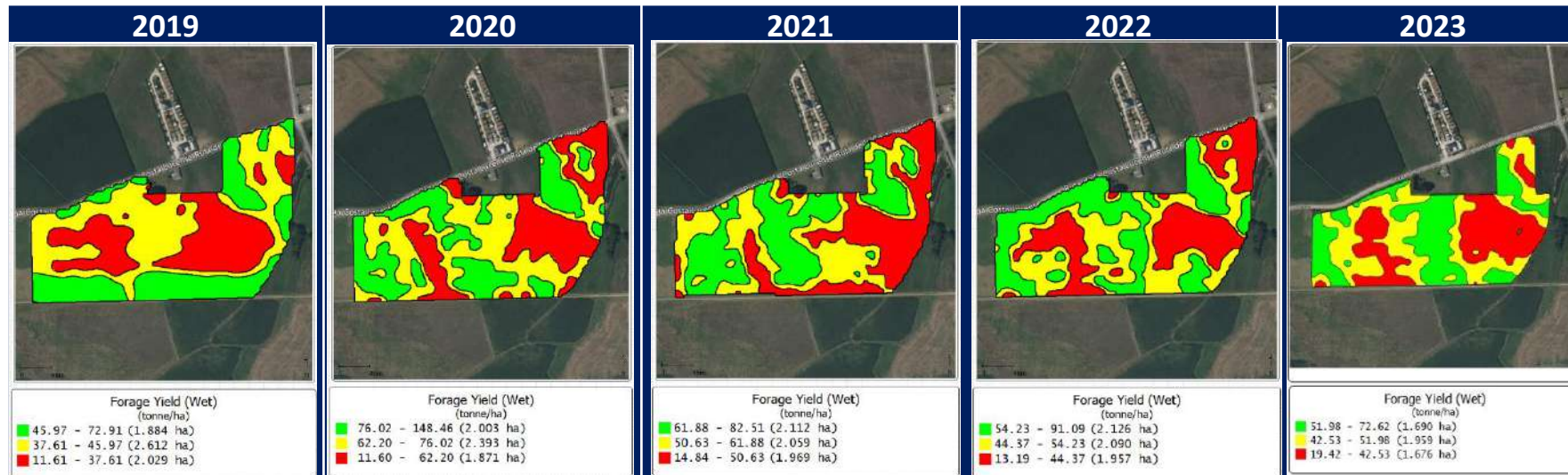


5. Zonas de manejo

2

Mapas anuales de zonas de manejo

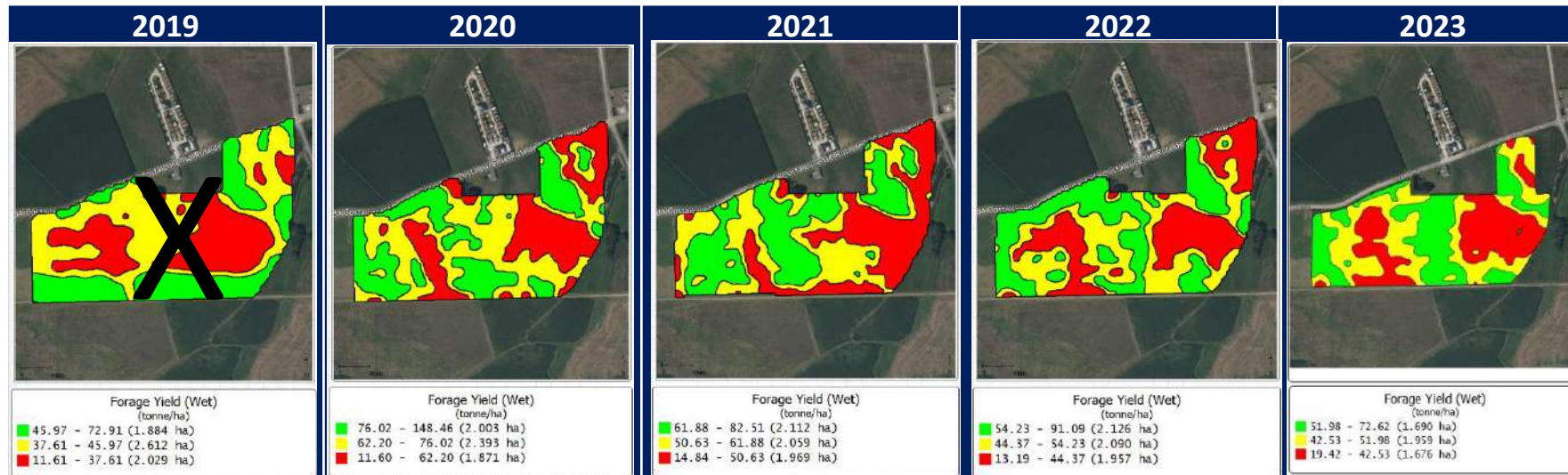
Producción de MV/ha, intervalos variables $\bar{x} \pm 10\%$



5. Zonas de manejo

3

Análisis multi-año de las zonas de manejo
(mínimo 3 campañas)



Media 2020-2023

5. Zonas de manejo

3

Análisis multi-año de las zonas de manejo
(mínimo 3 campañas)

Mapa de zonas – Media 2020-2023



Forage Yield (Wet)
(tonne/ha)

59.83 - 83.92	(2.091 ha)
48.95 - 59.83	(2.174 ha)
21.31 - 48.95	(1.357 ha)

semillas/ha	ha	total semillas
Dosis fija		
85000	5.622	477870
Dosis variable		
85000	2.091	177735
80000	2.174	173920
75000	1.357	101775
total	5.622	453430

Ahorro de semilla: 5.1%

5. Zonas de manejo

4

Mapa de prescripción (siembra, abonado)

Mapa de zonas – Media 2020-2023



Forage Yield (Wet)
(tonne/ha)

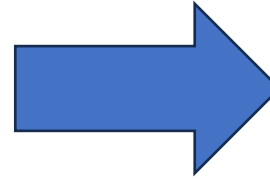
- 59.83 - 83.92 (2.091 ha)
- 48.95 - 59.83 (2.174 ha)
- 21.31 - 48.95 (1.357 ha)

Mapa de prescripción de siembra variable

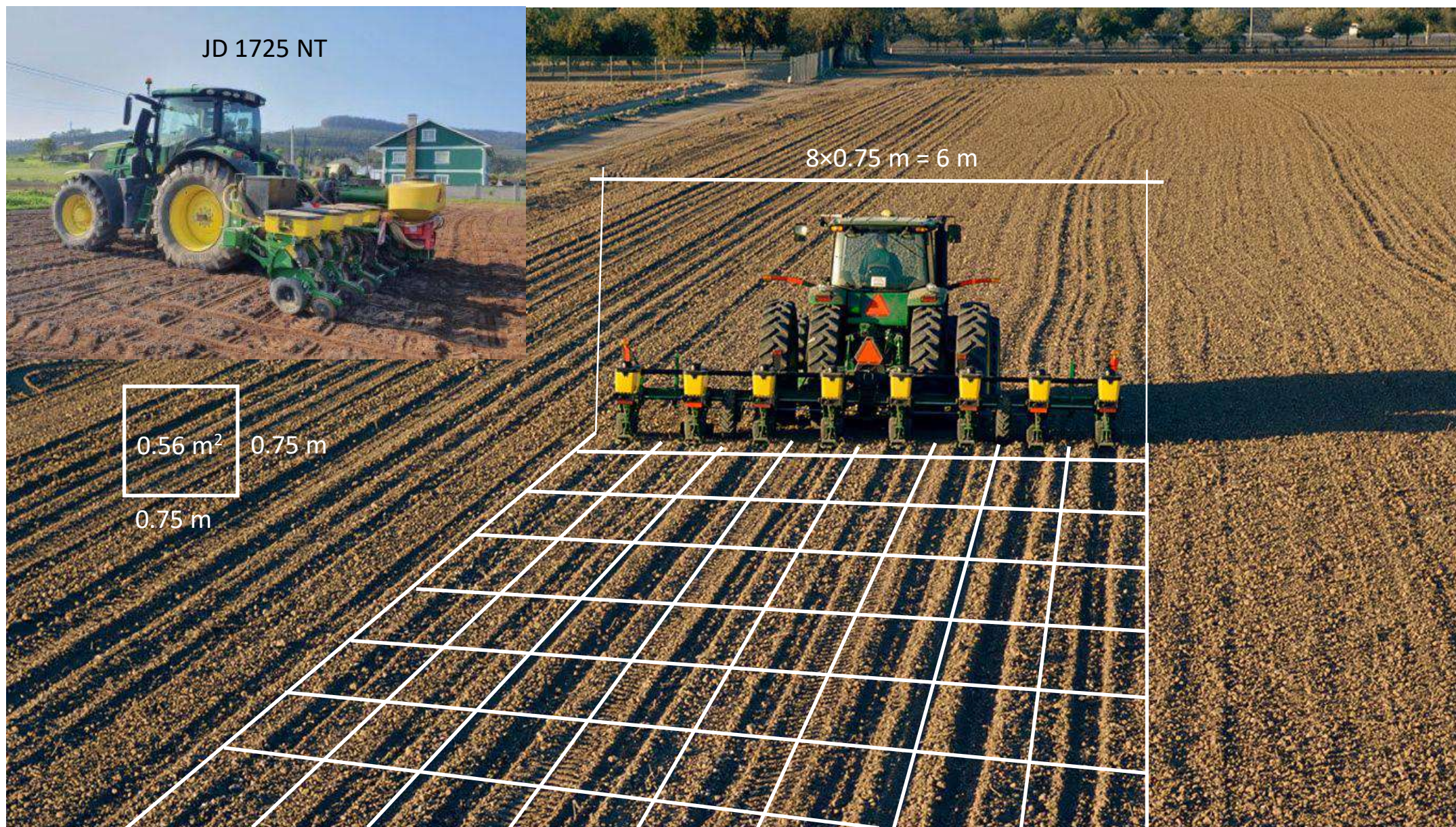


Target Rate (Count)
(sds/ha)

- 85,000 (2.087 ha)
- 80,000 (2.166 ha)
- 75,000 (1.352 ha)



Agricultura de precisión con maíz forrajero en Galicia.



6. Resultados

- 🌾 Protocolo de limpieza de maíz forrajero.
- 🌾 Mapas de rendimiento fiables para la gestión del cultivo.
- 🌾 Disponibilidad de la tecnología de agricultura de precisión.
- 🌾 Operarios formados para el uso de cosechadoras con sensores de rendimiento.
- 🌾 Optimización de las operaciones de siembra y fertilización.
- 🌾 Guía de buenas prácticas para la realización de mapas de rendimiento.



7. Líneas futuras de trabajo

- 🌾 Mejora del sensor de medida de la humedad del cultivo
- 🌾 Realización de técnicas de aplicación a dosis variable en base a los mapas

