

Ficha de Tecnología #4: Plataformas de Agricultura Digital



Área de Innovación. Unidad de I+D

Ing. Agr. Nicolás Ciancio
Ing. Agr. Gabriel Tinghitella

Aliado Estratégico



Patrocinador



Auspiciantes



Índice

Componentes.....	2
Funcionamiento	2
Plataformas disponibles y características.....	3
¿Qué permite hacer la tecnología?.....	4
Aspectos a considerar	4
Experiencia de usuarios.....	5
¿Qué problemas solucionó? ¿Qué oportunidades permitió capturar?.....	5
¿Qué obstáculos se presentaron al momento de implementarla?.....	5
Relación costo/beneficio.....	6
Costo	6
Beneficios	6
Mejora de la eficiencia en el monitoreo de cultivos (mediante Mapas de monitoreo)	6
Reducción del lapso de tiempo entre la detección de problemas y la ejecución de acciones	9
Optimización del momento del control de enfermedades mediante modelos predictivos y alertas.	15
Repago de la inversión.....	20
Servicio postventa.....	23
Referencias.....	23

Componentes

Las Plataformas de Agricultura Digital son herramientas alojadas en internet que permiten recopilar, almacenar, ordenar, procesar y visualizar distintos tipos de registros digitales. Eso facilita la gestión de diversos tipos de procesos y tareas que se ejecutan en el marco de los sistemas de producción agrícola.

Generalmente, estas Plataformas se sustentan en 3 componentes principales:

- **Plataforma web:** Es una página web que permite la carga, el procesamiento y la visualización de datos e información. Requiere tener conexión de internet para poder ser utilizadas.
- **Aplicación móvil:** Es un software diseñado para ser ejecutado desde dispositivos móviles como teléfonos celulares o tablets. Permite la carga, el procesamiento y la visualización de datos e información a través de dispositivos móviles, de manera on-line y/u off-line.
- **Software:** Es un programa que se instala en una computadora/tablet. Permite realizar las mismas funciones que las páginas webs y las aplicaciones móviles. Puede usarse con o sin conexión de internet.

Adicionalmente las Plataformas de Agricultura Digital poseen sistemas que permiten la vinculación y la integración con:

Sensores: Que permiten capturar datos de diversos orígenes (i.e.: centrales meteorológicas, maquinaria agrícola, drones, cámaras fotográficas, etc.).

Softwares o Plataformas de Gestión: Que pueden ampliar el alcance de la plataforma a la planificación y gestión económica, financiera, impositiva, y hasta de inventarios.

Herramientas de análisis de datos y machine learning: Para procesar grandes cantidades de datos agrícolas y generar información clave para la toma de decisiones.

Interfaces de programación de aplicaciones (APIs): Que posibilitan la integración de datos y funcionalidades de diferentes fuentes facilitando la interoperabilidad y la personalización de la Plataforma.

Funcionamiento

Generalmente, el primer paso que hay que dar para comenzar a utilizar una Plataforma de Agricultura Digital es registrarse y generar un usuario. Normalmente, la provisión de algunos datos básicos como Nombre, Apellido, dirección de e-mail y número de teléfono suelen ser suficientes para realizar el registro. No obstante, la cantidad de datos requeridos para llevar a cabo esta tarea depende de cada plataforma.

El segundo paso consiste en cargar todos los lotes en los que se quieren utilizar las funcionalidades provistas por la Plataforma. La carga puede realizarse de distintas formas; i) en la misma plataforma, registrando individualmente cada uno de los lotes y dibujando sus contornos de forma manual, ii) subiendo archivos que contengan sus ubicaciones y polígonos (archivos formato SHP, KMZ, KML, ZIP, GML, XML) o iii) exportando la información desde otros sistemas en los que ya estaba previamente cargados.

El tercer paso es asignarle a cada lote el cultivo que se va a sembrar en la campaña. Adicionalmente, en la mayor parte de las plataformas se pueden especificar distintas variables de manejo (entre otras: cultivo antecesor, híbrido/variedad, fecha de siembra, rendimiento esperado, uso -grano, forraje, silo, etc-).

Una vez cargada toda la información, las herramientas que ofrece cada plataforma quedan habilitadas para ser utilizadas.

En este punto vale la pena remarcar que las funcionalidades que ofrecen las Plataformas de Agricultura Digital debieran ser vistas como herramientas complementarias para auxiliar y potenciar los trabajos que realizan las personas que gestionan los procesos y/o tareas que se ejecutan en los lotes de producción. En un ejemplo, la posibilidad de contar con un mapa de anomalías de crecimiento de la vegetación debería utilizarse para planificar un recorrido de monitoreo, no para reemplazarlo (ver Figura 1).

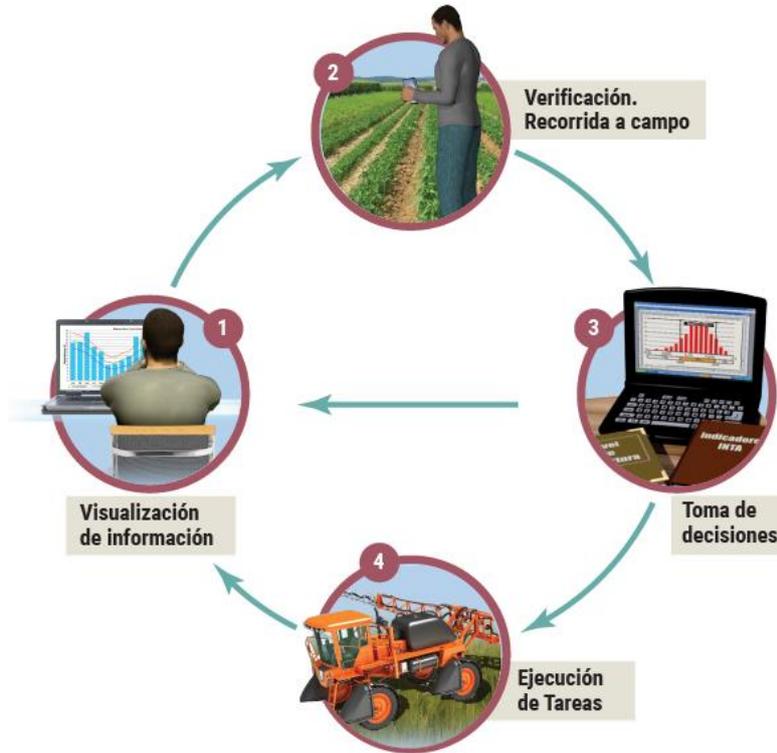


Figura 1. Representación esquemática de la dinámica de uso deseable para las herramientas que proveen las Plataformas de Agricultura Digital.

Plataformas disponibles y características

Hoy en día existe un gran número de Plataformas de Agricultura Digital, algunas de ellas son:

xarvio [®] Digital Farming Solutions <small>powered by BASF</small>	experta TECNOLOGÍA AGD	auravant	Campo 360
Cropwise	echelon	PUMA	SIMA

Las principales diferencias entre plataformas tienen que ver con sus características y las funcionalidades que ofrecen. Algunas de esas diferencias están relacionadas con la posibilidad de:

- Visualizar imágenes convencionales (RGB).
- Visualizar diferentes índices de vegetación (NDVI, GNDVI, SAVI, OSAVI, NDWI, etc.).
- Cargar notas de voz y fotos en las recorridas de monitoreo de cultivos.
- Generar reportes a partir de los datos del monitoreo.
- Generar y enviar órdenes de trabajo desde la plataforma.
- Generar y enviar distintos tipos de alertas.

- Monitorear el avance de la ejecución de labores.
- Registrar labores realizadas.
- Realizar estimaciones de rendimientos.
- Gestionar la agricultura por ambientes, mediante la generación de prescripciones automatizadas.
- Comparar dos capas de información en un mismo lote (o una misma capa de información en dos momentos diferentes del ciclo del cultivo).
- Trazar información de cada lote para poder obtener certificaciones.

¿Qué permite hacer la tecnología?

En líneas generales, las Plataformas de Agricultura Digital permiten realizar 4 procesos principales:

- **Carga, almacenamiento y ordenamiento de datos:** La carga de datos puede realizarse de forma manual o automática, a partir de la vinculación con diversos tipos de sensores y/o maquinarias. Todos los datos quedan almacenados en la plataforma de forma organizada.

- **Análisis y visualización de datos:** Los softwares integrados en las plataformas permiten realizar el procesamiento y el análisis de los datos cargados. De forma complementaria también procesan imágenes satelitales de los lotes para realizar diferentes tipos de análisis sobre el cultivo y el entorno en el que crecen y se desarrollan.

- **Planificación:** A partir del análisis de datos y su interpretación, las plataformas facilitan la planificación (y en algunos casos la programación) de distintos tipos de procesos y/o tareas que se ejecutan en los sistemas de producción agrícola.

- **Gestión:** Facilitan el monitoreo de procesos y/o tareas durante su ejecución e, incluso, habilitan la posibilidad de intervenir en tiempo real para frenar, corregir u optimizar su ejecución. Adicionalmente, los datos y la información generada que se almacena dentro de las plataformas pueden retroalimentar la gestión de procesos y/o tareas que se realizan en los ciclos agrícolas subsiguientes.

Aspectos a considerar

- Las distintas plataformas ofrecen diferentes tipos de herramientas. Algunas herramientas se repiten entre plataformas pero otras no, es decir, son exclusivas de la plataforma particular que las contiene. La búsqueda de la plataforma que mejor se ajusta a las necesidades de una empresa particular, demanda el análisis de las herramientas que contiene.
- Es probable que las herramientas/funcionalidades que ofrece una plataforma particular no satisfagan plenamente las necesidades de una empresa determinada. En ese caso la empresa deberá contemplar la gestión de más de una plataforma para poder acceder a las herramientas/funcionalidades que quiere utilizar. En ese caso resulta clave analizar las opciones de integración entre plataformas.
- Si se pretende realizar una gestión integral de una empresa (gestión productiva, económica, financiera, etc.) utilizando más de una plataforma también resulta importante chequear la compatibilidad entre las plataformas que se pretende utilizar.
- El formato de las prescripciones para la gestión variable de insumos generadas por una plataforma particular puede no ser compatible con el formato requerido por el monitor de modelos particulares de sembradoras/fertilizadoras.
- La App de la plataforma elegida debe instalarse en el celular de las personas que la van a utilizar. Es recomendable chequear la disponibilidad de la App para los diferentes tipos de sistemas operativos con los que cuentan los celulares actualmente (Android y/o iOS).
- El uso de mapas para auxiliar las recorridas de campo en lotes donde no hay conexión a internet, es necesario realizar previamente la descarga a la tablet o el celular que se utilizara para ejecutar la tarea.

- Antes de cargar mapas de rendimiento en las plataformas se recomienda procesarlos para evitar la propagación de distintos tipos de errores.

Experiencia de usuarios

A continuación, se transcriben algunos comentarios obtenidos a partir de un relevamiento de experiencias de usuarios de Plataformas de Agricultura Digital realizado a partir de entrevistas.

¿Qué problemas solucionó? ¿Qué oportunidades permitió capturar?

“El uso de esta plataforma nos permitió ser más eficientes en los monitoreos porque directamente vas a chequear lugares puntuales de los lotes”.

“El monitoreo se hace mucho más fácil y a la hora de recorrer, rápidamente podés ver en el teléfono el historial de aplicaciones y labores de cada lote”.

“Antes el informe de los monitoreos llegaba a los 4-5 días luego de haberlo hecho. Ahora si se monitorea a la mañana, a la tarde ya está el informe. Si monitoreas el Lunes, a más tardar, el miércoles ya sabes todas las aplicaciones que se van a hacer en toda la semana”.

“La ambientación, nos permitió subir la densidad de siembra en los mejores lotes. Eso determino que esos lotes salgan más limpios de malezas y este año, nos dio la posibilidad de entrar con pulverizaciones selectivas”.

“Me permitió armar reportes de calidad con mapas y gráficos”.

“Esta plataforma me permitió unificar criterios, simplificar registros, tenerlos digitalizados y disponibles en la nube; en definitiva me permitió ahorrar tiempo”.

“Trabajo con agricultura certificada y esta plataforma me sirvió para tener toda la información y la trazabilidad de cada lote ordenada, en un solo lugar”.

¿Qué obstáculos se presentaron al momento de implementarla?

“Algunas incompatibilidades o errores propios de la aplicación, ejemplo... si el software no está actualizado, no aparecen los mapas de siembra”.

“A veces, hay problemas con la carga de datos, sobretudo en la modalidad off-line de la aplicación”.

“Cuando cargas mucha información, (60 campos con 2 a 4 lotes) completando todas las capas de información, la aplicación se pone muy pesada y da error de sincronización”.

“El uso de imágenes satelitales para el monitoreo de malezas no es efectivo. Cuando las imágenes detectan la presencia de malezas ya es tarde”.

“Hay que acostumbrarse al uso y a la forma de cargar la información en la plataforma”.

“Actualmente, no es compatible con algunas plataformas de gestión económica”.

Relación costo/beneficio

Costo

La forma en la que se comercializan las plataformas difiere entre empresas. Algunas ofrecen la posibilidad de acceso por un monto fijo anual sin límite de hectáreas (Tabla 1). Otras las comercializan definiendo un valor por hectárea. El costo de suscripción es muy variable entre plataformas.

Tabla 1. Rangos de precios según tipo de contratación disponible.	
	Rango de precios
Costo sin límite de Has.	200 - 1500 USD/ año
Costo por Ha.	0,5 - 7 USD/ año
La amplia variabilidad en los costos se debe a que las plataformas ofrecen herramientas y servicios muy diferentes.	

Las plataformas suelen ofrecer diferentes tipos de membresías. Cada una de esas membresías consiste en un paquete particular de herramientas. Generalmente cuentan con una versión gratuita que ofrece un paquete de herramientas básico, y una o más versiones pagas que ofrecen mayor cantidad de herramientas.

Beneficios

Mejora de la eficiencia en el monitoreo de cultivos (mediante Mapas de monitoreo)

Una de las funcionalidades que ofrecen algunas Plataformas de Agricultura Digital son los mapas de monitoreo de cultivos. Estos mapas permiten relevar el estado de los cultivos e identificar las zonas de los lotes de producción donde los cultivos se encuentran en mejores y peores condiciones. Por lo tanto, sirven para diagramar las recorridas de monitoreo de los lotes contemplando la variabilidad del estado de los cultivos. Este tipo de funcionalidades ayudan a mejorar la representatividad de los diagnósticos generados a partir de los datos recopilados en los muestreos que se realizan en las recorridas de campo. Al mismo tiempo, reducen el tiempo destinado a la tarea, mejorando la eficiencia de los monitoreos.

El tiempo de monitoreo de un lote de producción agrícola podría calcularse con la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo de monitoreo (min)} = \frac{\sum \text{Distancia del recorrido (m)}}{\text{Velocidad de desplazamiento } \left(\frac{\text{m}}{\text{min}}\right)} + \sum \text{Tiempo de muestreo (min)}$$

A continuación, y a modo de ejemplo, comparamos dos formas de realizar el monitoreo de un lote agrícola particular.

La primera forma de monitoreo presenta el esquema de un recorrido de monitoreo convencional -en el que los puntos de muestreo se distribuyen en forma de Z (Figura 2, imagen izquierda). En ese lote de 70 Ha. se establecen 6 puntos de muestreo (un punto de muestreo cada 11,5 Has. aprox.). Si consideramos que el monitoreador recorre el lote siguiendo el orden numérico de los puntos de muestreo para minimizar la distancia recorrida entre puntos (trazando rectas y diagonales perfectas), que se desplaza a una velocidad equivalente a dos tercios de una velocidad normal de desplazamiento de referencia de 100 metros por minuto (66,6 metros/minuto) y que demora 2 minutos ejecutando el muestreo en cada punto, el tiempo destinado al monitoreo de ese lote particular es de aprox. 51,8 minutos.

$$\text{Tiempo de monitoreo (min)} = \frac{(96,7 + 565,3 + 305 + 394,2 + 617,4 + 342,1 + 327,3) \text{ m}}{66,6 \frac{\text{m}}{\text{min}}} + (2 + 2 + 2 + 2 + 2) \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de monitoreo (min)} = 51,8 \text{ min}$$

La segunda forma de monitorear el lote (Figura 2, imagen derecha) considera la misma cantidad de puntos de muestreo, pero en este caso el monitoreador es asistido por un mapa de anomalías de crecimiento de vegetación. Nuevamente, consideramos que el recorrido de monitoreo sigue el orden numérico de los puntos de muestreo, para maximizar la eficiencia (desplazamientos en rectas y diagonales perfectas) y asumimos los mismos supuestos para realizar los cálculos (una velocidad de desplazamiento del monitoreador dentro del lote de producción de 66,6 metros/minuto y 2 minutos por punto de muestreo). En este caso, por el uso del mapa de anomalías de crecimiento de vegetación, el monitoreo se reduce a 42,3 minutos aproximadamente y al mismo tiempo mejora la representatividad del muestreo.

$$\text{Tiempo de monitoreo (min)} = \frac{(111,6 + 282,6 + 312,4 + 215,7 + 327,3 + 431,4 + 334,7) \text{ m}}{66,6 \frac{\text{m}}{\text{min}}} + (2 + 2 + 2 + 2 + 2 + 2) \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de monitoreo (min)} = 42,3 \text{ min}$$

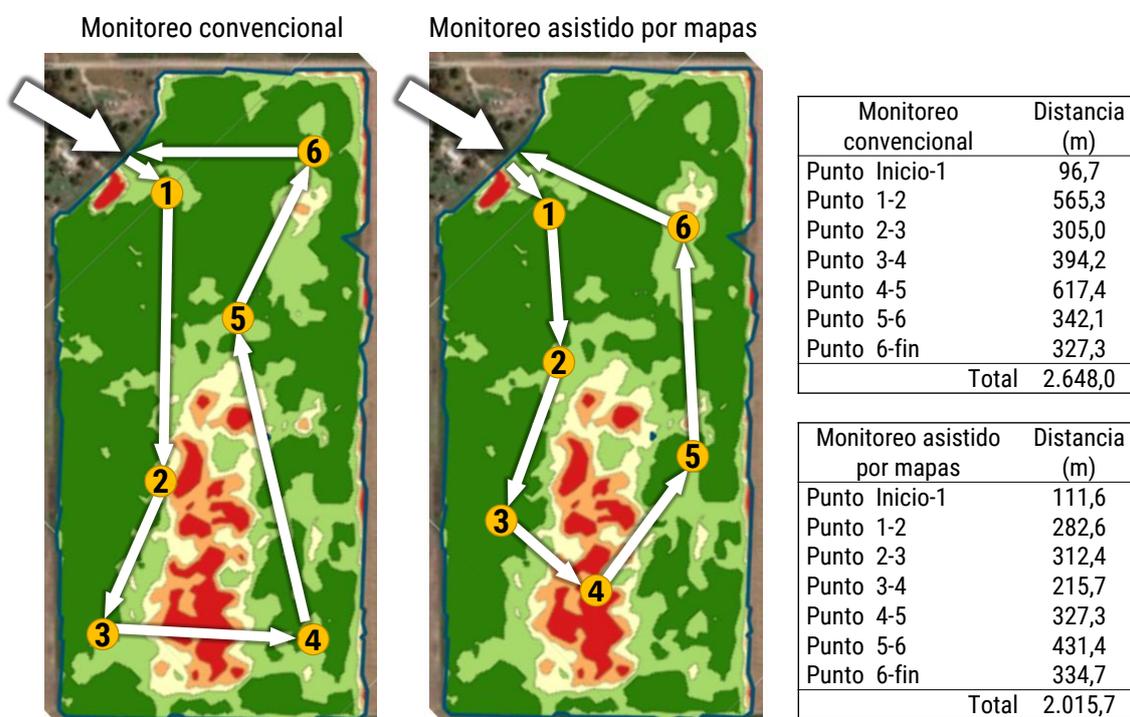


Figura 2. Esquema de puntos de muestreo y recorrido de un lote de soja de 70 Ha. Izquierda: Recorrido de monitoreo según procedimiento convencional. Derecha: Recorrido de monitoreo asistido por un mapa de anomalías de crecimiento de vegetación. En las tablas se indican las distancias recorridas entre puntos de monitoreo y la distancia total recorrida para cada caso.

Considerando que el lote tiene una superficie de 70 Ha., el tiempo operativo de un recorrido de monitoreo realizado con el procedimiento convencional insumiría 0,740 min./Ha. Si todos los lotes fueran iguales (misma forma y tamaño), un monitoreador con una dedicación neta de 8 horas diarias para realizar este tipo de tareas, podría recorrer 649 Ha./día aproximadamente. Asumiendo una dedicación semanal de 6 días, podría monitorear unas 3.892 Ha./semana. Si asumiéramos que el monitoreador debería visitar cada lote 1 vez por semana, la cantidad de hectáreas que podría monitorear por campaña sería igual a la cantidad de hectáreas que podría recorrer semanalmente. Finalmente, si el precio por hectárea monitoreada fuera de 5 USD/Ha./campaña, el ingreso del monitoreador ascendería a 19.459 USD/campaña.

$$\text{Tiempo operativo} \left(\frac{\text{min}}{\text{Ha.}} \right) = \frac{51,8 \text{ min}}{70 \text{ Ha.}} = 0,740 \frac{\text{min}}{\text{Ha.}}$$

$$\text{Capacidad de trabajo} \left(\frac{\text{Ha.}}{\text{semana}} \right) = \frac{\text{tiempo dedicado a la tarea} \left(\frac{\text{min}}{\text{semana}} \right)}{\text{tiempo operativo} \left(\frac{\text{min}}{\text{Ha.}} \right)}$$

$$\text{Capacidad de trabajo} \left(\frac{\text{Ha}}{\text{semana}} \right) = \frac{2.880 \frac{\text{min}}{\text{semana}}}{0,740 \frac{\text{min}}{\text{Ha}}} = 3.892 \frac{\text{Ha}}{\text{semana}}$$

$$\text{Ingreso por campaña} \left(\frac{\text{USD}}{\text{campaña}} \right) = \text{Precio monitoreo} \left(\frac{\text{USD}}{\text{Ha./campaña}} \right) \times \text{Ha. monitoreadas}$$

$$\text{Ingreso por campaña} \left(\frac{\text{USD}}{\text{campaña}} \right) = 5 \frac{\text{USD}}{\text{Ha./campaña}} \times 3.892 \text{ Ha} = 19.460 \frac{\text{USD}}{\text{campaña}}$$

Tomando como referencia el mismo caso del ejemplo previamente analizado, el monitoreo auxiliado por un mapa de vegetación reduciría el tiempo operativo de la tarea a 0,604 min./Ha. Asumiendo los mismos supuestos (que todos los lotes son iguales, 6 días/semana y 8 horas/día de dedicación a la tarea y revisita semanal de los lotes), un monitreador podría recorrer unas 4.768 Ha. por semana, obteniendo un ingreso por campaña de aproximadamente USD 23.841 (aproximadamente un 22,5% más).

En este punto, vale la pena aclarar que el beneficio que reporta el uso de este tipo de funcionalidades para optimizar las recorridas de monitoreo puede fluctuar, y de forma significativa, por múltiples y variados motivos. El tamaño y la forma de los lotes, la distancia entre lotes y los tiempos de desplazamiento asociados, y la cantidad de días por semana y horas por día que trabaja el monitreador, son solo algunos de esos motivos que pueden afectar el resultado del cálculo.

En la Tabla 2 se presenta un análisis de sensibilidad que presenta el ingreso extra obtenido por el monitreador cuando realiza los monitoreos de cultivos auxiliado por mapas de anomalías de vegetación. Este análisis se hizo, sobre la base de los supuestos del ejemplo presentado previamente. La sensibilización se realizó considerando variaciones en el porcentaje de reducción del tiempo operativo de la tarea a partir del uso de los mapas y en el precio que se paga por hectárea monitoreada. El ingreso extra informado en cada celda de la tabla se calculó cuantificando el beneficio obtenido al realizar los monitoreos de cultivos con el apoyo de mapas de anomalías de vegetación, descontado el costo del abono a una plataforma que provee este tipo de mapas. Como se observa en la tabla, el ingreso extra crece a medida que aumenta el precio pagado por la hectárea monitoreada y el porcentaje de ahorro de tiempo operativo destinado a la tarea.

Tabla 2. Ingreso extra obtenido por utilizar mapas de anomalías de vegetación para realizar monitoreos de cultivos, ante variaciones en el porcentaje de reducción del tiempo operativo de la tarea por utilizar los mapas y el precio pagado por hectárea monitoreada, luego de descontar el costo de la licencia de uso de una plataforma de agricultura digital que ofrece la funcionalidad.

		Precio pagado por el monitoreo (USD/Ha.)						
		3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
Reducción en el tiempo operativo de la tarea (%)	-5%	-1.434	-1.331	-1.229	-1.127	-1.024	-922	-819
	-10%	-865	-649	-432	-216	0	216	432
	-15%	-229	114	458	801	1.145	1.488	1.831
	-20%	486	973	1.459	1.946	2.432	2.919	3.405
	-25%	1.297	1.946	2.595	3.243	3.892	4.541	5.189
	-30%	2.224	3.058	3.892	4.726	5.560	6.394	7.228

Para el cálculo del ingreso extra se consideró un tiempo operativo de referencia de 0,740 min/Ha., con una capacidad de trabajo asociada de 3.892 Ha./campaña (Método de monitoreo convencional) y un costo de 0,5 USD/Ha. por contratar la "Visualización PRO" de una plataforma (Xarvio).

¿Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por precio:** Si el precio pagado por el monitoreo es de 4,5 USD/Ha., para obtener un ingreso extra mayor a los 3.200 USD/campaña, el uso de estas plataformas debe ayudar a reducir el tiempo de la labor de monitoreo en un 25%, al menos.
- **Ingreso por porcentaje de reducción del tiempo operativo:** Si el uso de las Plataformas de Agricultura Digital permiten reducir el tiempo operativo en un 10%, y querés obtener un ingreso extra de unos 400 USD/campaña, necesitas que el precio del monitoreo sea mayor que 6 USD/Ha.
- **Ingreso por beneficio extra generado:** Si querés obtener un beneficio extra de 2.200 USD y el precio que pagan por la labor de monitoreo es de 3 USD/Ha., los mapas de anomalías de vegetación que ofrecen las Plataformas de Agricultura Digital debieran ayudarte a lograr un ahorro en el tiempo de monitoreo del orden del 30%.

HERRAMIENTAS ALTERNATIVAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS MONITOREOS

El beneficio desarrollado en esta sección, cuantificado a partir del uso de un mapa de anomalías de crecimiento de vegetación, también puede capturarse utilizando otros tipos de mapas que ofrecen las diferentes Plataformas de Agricultura Digital. Para realizar la misma tarea pueden usarse mapas de NDVI y diferentes índices de vegetación, mapas de biomasa y biomasa contrastada (muestran zonas del lote con mayor o menor cantidad de biomasa), y hasta mapas de malezas (muestran zonas con diferentes niveles de cobertura de malezas durante el barbecho). Incluso, hasta pueden llegar a utilizarse mapas de potencialidad productiva. Estos mapas, que permiten diferenciar zonas con diferentes niveles de potencial productivo, normalmente se utilizan para realizar muestreos de suelo dirigidos. No obstante también pueden utilizarse para auxiliar el monitoreo de cultivos.

Reducción del lapso de tiempo entre la detección de problemas y la ejecución de acciones

Sistemas para el registro y acceso de datos distribuido¹

La utilización de las Plataformas de Agricultura Digital permite reducir el tiempo que transcurre entre el momento en el que se registran datos y el momento en el que se ejecutan las acciones que se definen a partir de esos datos relevados. Las funcionalidades que habilitan la posibilidad de registrar datos con criterio unificado y, conectividad mediante, acceder a esos datos en tiempo real desde diferentes lugares, permiten capturar beneficios. Un caso concreto en el que se puede capturar este tipo de beneficio se presenta cuando se utilizan funcionalidades que permiten realizar el registro digital de adversidades durante los monitoreos de cultivos. Especialmente cuando la generación de las ordenes de trabajo no las confecciona el encargado de realizar los monitoreos de los cultivos. En esos casos el acceso en tiempo real a los registros de monitoreo permite acelerar la elaboración de reportes y la generación de órdenes de trabajo. De esta forma, se minimizan las demoras entre el momento en el que se detecta un problema y se ejecuta una acción. Eventualmente este tipo de optimizaciones puede tener fuerte impacto a nivel productivo.

Veámoslo con un caso hipotético. En la Tabla 3 se muestra la diferencia de tiempo que transcurre entre el momento en el que se registran los datos de adversidades relevados en una recorrida de monitoreo y la ejecución de una pulverización para controlar una adversidad detectada. Se presentan dos casos en

¹ Es una infraestructura informática que permite registrar, almacenar y acceder a datos de forma descentralizada (desde diferentes tipos de dispositivos y/o lugares geográficos).

los que la información se gestiona de formas distintas. En el primer caso se utiliza el método convencional basado en planillas de papel para tomar registros. En el segundo caso la información se gestiona utilizando una plataforma que permite el registro y acceso de datos distribuido.

Tabla 3. Secuencia temporal para ejecutar una labor de control de adversidades en función del método de gestión de información utilizado. Convencional basado en planillas (celdas amarillas) vs. Auxiliado por la utilización de sistemas de registro y acceso de datos distribuido (celdas verdes).

Proceso	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sab	Dom	Lun	Mar
<i>Monitoreo y Registro de Datos</i>									
Convencional									
Registro y acceso distribuido									
<i>Generación de reporte y orden de trabajo</i>									
Convencional									
Registro y acceso distribuido									
<i>Ejecución de labor</i>									
Convencional									
Registro y acceso distribuido									

En el caso del método convencional, la persona encargada de monitorear el cultivo lo recorre el lunes por la mañana, registrando los datos relevados en una planilla de papel. Por la tarde, cuando regresa a la oficina de la empresa, transcribe los datos a una planilla Excel y la envía por e-mail a la persona encargada de generar las órdenes de trabajo. A la mañana del día siguiente, se confecciona la orden de trabajo y se envía a la persona encargada de realizar la pulverización. En ese momento la pulverizadora ya se encuentra trabajando en otra zona y la aplicación se programa para el día siguiente, es decir, dos días después de realizado el monitoreo. Sin embargo, esa noche llueven 120 mm. y la pulverización debe ser pospuesta una semana porque la capacidad portante del piso del lote se ve afectada.

En el caso del método que permite el registro y acceso de datos distribuido, suponemos que la persona encargada de realizar el monitoreo de los cultivos recorre el cultivo el lunes por la mañana y registra los datos relevados en la aplicación móvil, en tiempo real. Asumimos que en el campo donde se registran los datos no hay conectividad. Eso determina que los registros no estén disponibles en la plataforma hasta el mediodía, cuando el monitoreador llega al pueblo, donde si hay conectividad a internet, y los datos se sincronizan con la plataforma. Ese mismo día, a primera hora de la tarde, la persona encargada de realizar las órdenes de trabajo, chequea los datos en la plataforma y elabora una orden de trabajo para la persona que se encarga de realizar las pulverizaciones. A la mañana siguiente, se realiza la pulverización para controlar la adversidad detectada en el lote en el monitoreo del día anterior.

De esta forma, cuando el monitoreo se realiza con el auxilio de una plataforma que permite realizar el registro y acceso de datos distribuido, el tiempo que transcurre entre el momento en el que se detecta el problema y se realiza el control es de 1 día. Con el método convencional, ese lapso de tiempo, evento de lluvia mediante, se extiende hasta los 8 días. El incremento del tiempo que transcurre entre la detección de un problema y la ejecución de una acción para controlarlo (en este caso pulverizar un agroquímico para controlar una adversidad) puede tener fuerte impacto sobre la performance productiva y económica de un cultivo.

Nuevamente, veámoslo con un ejemplo hipotético. Analicemos el potencial impacto productivo que podría generar un retraso en el control de orugas defoliadoras en un cultivo de soja. La demora en el control de esta plaga implica mayores niveles de defoliación y en ocasiones, el aumento en los niveles de defoliación puede afectar negativamente el rendimiento de los cultivos. En el caso que se presenta en la Figura 3, se

observa una caída de rendimiento de aproximadamente 0,5 % por cada punto porcentual de aumento en el porcentaje de defoliación.

En este punto cabe aclarar que la tasa de pérdida de rendimiento de un cultivo depende del estadio de desarrollo en el que se encuentre ese cultivo y las condiciones de crecimiento que este explorando en el momento que se produce el daño. El impacto que un daño por defoliación ejerce sobre la performance productiva de un cultivo será mucho más fuerte si se ocurre durante las etapas críticas en las que ese cultivo define su rendimiento. Adicionalmente, ante un mismo porcentaje de defoliación, cultivos con un **Índice de Área Foliar (IAF)**² muy superior al **IAF crítico**³ y buenas condiciones de crecimiento, se verán mucho menos afectados que cultivos que tengan un IAF por debajo del IAF crítico y condiciones de crecimiento desfavorables.

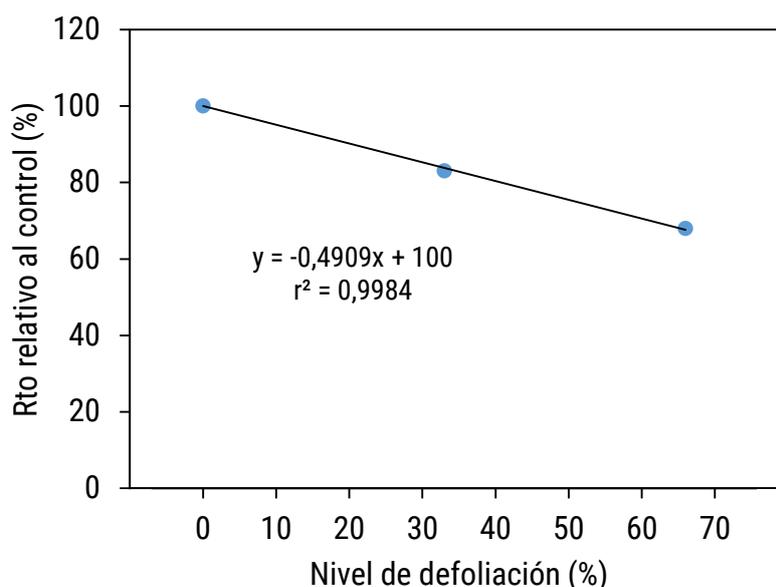


Figura 3. Rendimiento (Rto.) de un cultivo de soja relativo a un control sin defoliar en función del nivel de defoliación. El cultivo de soja a partir del que se obtuvieron los datos con los que se elaboró este gráfico fue de la variedad DM 7.8i -indeterminada- sembrada a finales de Noviembre en la zona Norte de Santa Fe, con una densidad de 16 plantas/m². La defoliación se realizó en el estadio fenológico R5.5 con un Índice de Área Foliar (IAF) de 7.9 (Szwarc, y Vitti Scarel, 2017).

Sobre la base de la regresión presentada en la Figura 3, y asumiendo una serie de supuestos que describimos a continuación, realizamos una estimación de pérdida de rendimiento del cultivo ante el atraso en el momento en el que se llevó a cabo el control de las orugas defoliadoras.

Supuestos considerados para realizar la cuantificación del impacto de la defoliación:

- Cultivo de Soja en estadio fenológico R5.5 con IAF de 7.9
- Distancia entre surcos: 0,52 m
- Nivel de defoliación del cultivo al momento del monitoreo: 10 %
- N° de orugas por metro lineal de surco: 10 orugas medidoras (*Rachiplusia nu*) en el 6to estadio larval
- Consumo diario de *Rachiplusia nu* en el 6to estadio larval: 23 cm² de hoja/día (Pereyra, 1998)

² El Índice de Área Foliar (IAF) representa a la cantidad de m² de hojas verdes por cada m² de suelo.

³ El Índice de Área Foliar Crítico hace referencia al mínimo IAF necesario para lograr interceptar el 95 % de la radiación solar incidente, a partir del cual se logra maximizar la tasa de crecimiento del cultivo.

En este punto también resulta importante aclarar que la tasa de consumo de tejido foliar puede variar, entre otras cosas, en función de: (i) el tipo de plaga, (ii) el estadio de desarrollo de la plaga, (iii) el estadio de desarrollo del cultivo y (iv) las condiciones ambientales presentes durante el ataque (ocurrencia de lluvias, rango de temperaturas, niveles de humedad relativa, etc.).

Considerando los supuestos previamente asumidos y que la gestión de los registros de monitoreo mediante funcionalidades que permiten el registro y acceso de datos distribuido solo retrasa 1 día la aplicación de los insecticidas, la pérdida de área foliar se limita a 0,044 m²; una defoliación del 0,56 % en el ejemplo analizado.

$$\text{Cantidad de orugas} \left(\frac{\text{orugas}}{\text{m}^2 \text{ suelo}} \right) = \frac{\text{Orugas}}{\text{m}}}{\text{Distancia entre surcos (m)}}$$

$$\text{Cantidad de orugas} \left(\frac{\text{orugas}}{\text{m}^2 \text{ suelo}} \right) = \frac{10 \frac{\text{orugas}}{\text{m}}}{0,52 \text{ m}} = 19,2 \frac{\text{orugas}}{\text{m}^2 \text{ suelo}}$$

$$\text{Tasa de defoliación} \left(\frac{\text{m}^2 \text{ hoja}}{\text{m}^2 \text{ suelo/día}} \right) = \text{Consumo por oruga} \left(\frac{\text{m}^2 \text{ hoja}}{\text{oruga}} \right) \times \text{Cantidad de orugas} \left(\frac{\text{orugas}}{\text{m}^2 \text{ suelo}} \right)$$

$$\text{Tasa de defoliación} \left(\frac{\text{m}^2 \text{ hoja}}{\text{m}^2 \text{ suelo/día}} \right) = 0,0023 \left(\frac{\text{m}^2 \text{ hoja}}{\text{oruga/día}} \right) \times 19,2 \left(\frac{\text{orugas}}{\text{m}^2 \text{ suelo}} \right) = 0,044 \frac{\text{m}^2 \text{ hoja}}{\text{m}^2 \text{ suelo/día}}$$

$$\% \text{ Defoliación} = \frac{\text{Tasa de defoliación} \times \text{días}}{\text{IAF}} \times 100$$

$$\% \text{ Defoliación} = \frac{0,044 \frac{\text{m}^2 \text{ hoja}}{\text{m}^2 \text{ suelo/día}} \times 1 \text{ día}}{7,9} \times 100 = 0,56 \%$$

En el caso en el que la gestión de datos se realiza con planillas (método convencional), el control de la plaga se realiza 8 días luego de su detección. Esa demora genera una pérdida de área foliar de aproximadamente 0,35 m², equivalente a un porcentaje de defoliación de 4,5 %.

Analicemos un caso de un cultivo control con un rendimiento de 5.000 kg/Ha. Utilizando una plataforma que permite el registro y acceso de datos de forma distribuida, el retraso de 1 día en la realización del control determinaría que el porcentaje de defoliación pase de 10 % a 10,56 % provocando una pérdida de rendimiento de solo 13,4 kg./Ha. Si el valor de la tonelada de Soja fuera de 422 USD ⁴, la pérdida de rendimiento equivaldría a 5,6 USD/Ha. Realizando la gestión de datos con planillas de cálculo (método convencional) y asumiendo un retraso de 8 días en la realización del control, tal y como lo plantea el ejemplo que estamos analizando, el porcentaje de defoliación pasaría de 10 % a 14,5 %. La pérdida de rendimiento asociada sería de 110,0 kg/Ha., equivalente a 46,4 USD/Ha. Como se observa, en este caso de análisis particular, y asumiendo como válidos todos los supuestos asumidos, este tipo de funcionalidades reportaría reducciones en la pérdida de ingresos del orden de los 40,8 USD/Ha.

$$\text{Rto relativo al control (\%)} = (\% \text{ caída en el Rto} \times \text{diferencia en el \% defoliación}) + 100$$

$$\text{Rto relativo al control (\%)} = (-0,4909\% \times (14,50 \% - 10,56 \%)) + 100 = 98,07 \%$$

$$\text{Rto defoliado} \left(\frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}} \right) = \frac{\text{Rto relativo al control (\%)}}{100} \times \text{Rto control} \left(\frac{\text{kg}}{\text{Ha.}} \right)$$

⁴ El precio de la tonelada de soja disponible, promedio de los últimos 3 años. [Agroseries CREA](#) 07/2024

$$\text{Rto defoliado} \left(\frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}} \right) = \frac{98,07\%}{100} \times 5000 \frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}} = 4903,4 \frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}}$$

$$\text{Pérdida de Rto} \left(\frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}} \right) = \text{Rto control} \left(\frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}} \right) - \text{Rto defoliado} \left(\frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}} \right)$$

$$\text{Pérdida de Rto} \left(\frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}} \right) = 5000 \frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}} - 4903,4 \frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}} = 96,6 \frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}}$$

$$\text{Caída en el ingreso} \left(\frac{\text{USD}}{\text{Ha.}} \right) = \text{Pérdida de Rto} \left(\frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}} \right) \times \text{Precio soja} \left(\frac{\text{USD}}{\text{kg.}} \right)$$

$$\text{Caída en el ingreso} \left(\frac{\text{USD}}{\text{Ha.}} \right) = 96,6 \frac{\text{kg.}}{\text{Ha.}} \times 0,422 \frac{\text{USD}}{\text{kg.}} = 40,8 \frac{\text{USD}}{\text{Ha.}}$$

Es importante tener en cuenta que en el caso presentado anteriormente la reducción del ingreso depende del nivel de rendimiento del cultivo control sin defoliar, ya que la tasa de pérdida de rendimiento es relativa a la situación control. Sobre la base de los mismos supuestos considerados en el ejemplo previamente presentado, la Tabla 4 muestra un análisis de sensibilidad en la reducción del ingreso que se genera en un cultivo de soja ante variaciones en los días de retraso en la realización de la pulverización y en el rendimiento del cultivo sin defoliar (la situación control).

Tabla 4. Reducción del ingreso (USD/Ha.) generado por pérdidas de rendimiento en función de los días de retraso en el control de la plaga y el nivel de rendimiento del cultivo sin defoliar (control).

		Rendimiento del cultivo sin defoliar (Kg/Ha.)								
		1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500	4.000	4.500	5.000
Días de atraso en la pulverización	1	1,2	1,7	2,3	2,9	3,5	4,1	4,6	5,2	5,8
	2	2,3	3,5	4,6	5,8	7,0	8,1	9,3	10,4	11,6
	3	3,5	5,2	7,0	8,7	10,4	12,2	13,9	15,7	17,4
	4	4,6	7,0	9,3	11,6	13,9	16,2	18,6	20,9	23,2
	5	5,8	8,7	11,6	14,5	17,4	20,3	23,2	26,1	29,0
	6	7,0	10,4	13,9	17,4	20,9	24,4	27,8	31,3	34,8
	7	8,1	12,2	16,2	20,3	24,4	28,4	32,5	36,5	40,6
	8	9,3	13,9	18,6	23,2	27,8	32,5	37,1	41,8	46,4
	9	10,4	15,7	20,9	26,1	31,3	36,5	41,8	47,0	52,2
	10	11,6	17,4	23,2	29,0	34,8	40,6	46,4	52,2	58,0

La pérdida de ingreso se calculó tomando como referencia los datos de un ensayo con una variedad de Soja DM 7.8i -indeterminada-, sembrada finales de Noviembre en la zona Norte de Santa Fe, con una densidad de 16 plantas/m². El IAF del cultivo al momento de la defoliación (en el estadio fenológico R5.5) fue de 7,9. El precio de la soja utilizado para realizar los cálculos fue de 422 USD/Tn.

¿Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por días de atraso en pulverización:** Si la gestión de registros de adversidades con planillas de papel genera retrasos de 6 días en la realización de los controles, las reducciones de ingresos inferiores a 17,4 USD/Ha., solo se obtendrán si los rendimientos de los cultivos sin defoliar son iguales o inferiores a los 2.500 Kg./Ha.

- **Ingreso por rendimiento del control sin defoliar:** Si el rendimiento de un cultivo sin defoliar es de 3.000 Kg/Ha., y no se toleran reducciones de ingreso superiores a los 7 USD/Ha., los retrasos en el control de adversidades no deben exceder los 2 días.
- **Ingreso por reducción del ingreso:** Si se pretende que la reducción del ingreso por retrasos en aplicaciones no supere los 11,6 USD/Ha., y el rendimiento del cultivo control sin defoliar es de 2.500 Kg./Ha. los retrasos en la realización de los controles no pueden exceder los 4 días.

Pero más allá del análisis de sensibilidad previamente presentado, otro aspecto que debe considerarse es que la reducción de ingresos depende de la tasa de pérdida de rendimiento por punto porcentual de defoliación. En este punto vale recordar que dicha tasa depende de factores relacionados con la adversidad y el cultivo que se analicen. La Tabla 5 presenta un análisis de sensibilidad para la reducción del ingreso ante variaciones en el porcentaje de pérdida de rendimiento por punto porcentual de defoliación y en el rendimiento del cultivo sin defoliar (la situación control). A medida que el porcentaje de pérdida de rendimiento por punto porcentual de defoliación es mayor, la reducción del ingreso se incrementa. Esta situación se ve agravada en condiciones donde el rendimiento del cultivo control sin defoliar es mayor.

Tabla 5. Reducción del ingreso (USD/Ha.) generado por pérdidas de rendimiento ante retrasos de 1 día en el control de la plaga, en función del porcentaje de pérdida de rendimiento por punto porcentual de defoliación y el nivel de rendimiento del cultivo sin defoliar (control).

		Rendimiento del cultivo sin defoliar (Kg/Ha.)								
		1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500	4.000	4.500	5.000
Porcentaje de pérdida de rendimiento por punto porcentual de defoliación (%)	0,30	0,7	1,1	1,4	1,8	2,1	2,5	2,8	3,2	3,5
	0,35	0,8	1,2	1,7	2,1	2,5	2,9	3,3	3,7	4,1
	0,40	0,9	1,4	1,9	2,4	2,8	3,3	3,8	4,3	4,7
	0,45	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	3,7	4,3	4,8	5,3
	0,50	1,2	1,8	2,4	3,0	3,5	4,1	4,7	5,3	5,9
	0,55	1,3	1,9	2,6	3,2	3,9	4,5	5,2	5,8	6,5
	0,60	1,4	2,1	2,8	3,5	4,3	5,0	5,7	6,4	7,1
	0,65	1,5	2,3	3,1	3,8	4,6	5,4	6,1	6,9	7,7
	0,70	1,7	2,5	3,3	4,1	5,0	5,8	6,6	7,4	8,3
	0,75	1,8	2,7	3,5	4,4	5,3	6,2	7,1	8,0	8,9

La pérdida de ingreso se calculó tomando como referencia los datos de un ensayo con una variedad de Soja DM 7.8i –indeterminada-, sembrada a finales de Noviembre en la zona Norte de Santa Fe, con una densidad de 16 plantas/m². El IAF del cultivo al momento de la defoliación (en el estadio fenológico R5.5) fue de 7,9. El precio de la soja utilizado para realizar los cálculos fue de 422 USD/Tn.

¿Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por porcentaje de pérdida:** Si el porcentaje de pérdida de rendimiento por punto porcentual de defoliación es de 0,60 %, para no tener una reducción de ingreso superior a 5,7 USD/Ha., el rendimiento del cultivo sin defoliar debiera ser igual o inferior a 4.000 Kg/Ha.
- **Ingreso por rendimiento del control sin defoliar:** Si el rendimiento del cultivo sin defoliar es de 2.500 Kg/Ha., para que la reducción del ingreso sea inferior a 3,8 USD/Ha., el porcentaje de pérdida de rendimiento por cada punto porcentual de defoliación debe ser inferior a 0,65 %.
- **Ingreso por reducción del ingreso:** Si se pretende que el retraso en el control de orugas defoladoras no genere reducciones de ingreso superiores a los 2,9 USD/Ha. por día de retraso en la aplicación, cuando el porcentaje de pérdida de rendimiento por punto porcentual de defoliación es de 0,35 %, el rendimiento de los cultivos sin defoliar deberá ser igual o inferior a los 3.500 Kg/Ha.

Optimización del momento del control de enfermedades mediante modelos predictivos y alertas.

En cultivos como trigo, cebada o soja, las enfermedades pueden generar grandes pérdidas en el rendimiento. Para controlarlas, durante el ciclo de los cultivos, suelen realizarse 1 o más aplicaciones de fungicidas. La decisión de aplicar un fungicida (o no hacerlo) demanda realizar el monitoreo de los cultivos para medir los niveles de incidencia y severidad ⁵ de la/s enfermedad/es presente/s.

No obstante, en algunas situaciones las aplicaciones de fungicidas se realizan en determinados estadios de desarrollo de los cultivos sin considerar la incidencia y/o severidad de las enfermedades (aplicaciones por calendario). Por este motivo en esos casos es frecuente que se realicen aplicaciones de fungicidas cuando en realidad no son necesarias. El uso innecesario de productos fitosanitarios incrementa los costos de producción, los riesgos de malos usos y hasta la generación de resistencias. Los modelos de predicción de enfermedades, permiten anticipar su probabilidad de ocurrencia. Por lo tanto, son sumamente útiles para apoyar el proceso de toma de decisiones de uso de fungicidas y optimizar el uso de insumos mejorando, al mismo tiempo, la performance productiva de los cultivos.

Algunas Plataformas de Agricultura Digital ofrecen sistemas de alerta que notifican el nivel de riesgo de ocurrencia de enfermedades en distintos tipos de cultivos (trigo, cebada, soja). Estos sistemas utilizan datos del cultivo que se registran en cada lote que se carga en las plataformas (cultivo antecesor, tratamiento de semillas, fecha de siembra, especie, cultivar/variedad) e información proveniente de modelos climáticos. A partir de la integración de todos esos datos, los sistemas predicen el nivel de riesgo de ocurrencia de enfermedades a escala de lote (bajo, medio y alto) y realizan una recomendación para optimizar el momento de aplicación del fungicida. Incluso, permiten especificar el fungicida utilizado, y apagar la simulación de riesgo de ocurrencia de enfermedades durante el período de persistencia del fungicida aplicado. De esta forma, este tipo de herramientas permite:

- Optimizar el momento de aplicación de fungicidas.
- Ajustar la frecuencia de monitoreo de los cultivos tomando en cuenta los niveles de riesgo de ocurrencia de enfermedades (incrementar o reducir la frecuencia de monitoreo en condiciones más o menos predisponentes, respectivamente).
- Eficientizar la logística de las aplicaciones de fungicidas. (Posibilidad de visualizar el riesgo fitosanitario de todos los lotes en una sola pantalla, pudiendo priorizar el monitoreo/ aplicación de fungicidas en los lotes con mayor riesgo de enfermedades).

Considerando la relación existente entre cómo se decide aplicar fungicidas (por calendario o a partir de información relevada durante los monitoreos de cultivos) y el riesgo de ocurrencia de enfermedades (obtenido a partir de un modelo de predicción) pueden presentarse 4 situaciones contrastantes (Tabla 6). No obstante, solo en algunos de esos casos sería factible capturar beneficios a partir de la adopción de un sistema de emisión de alertas de ocurrencia de enfermedades.

Situación 1: Se realizan aplicaciones por calendario y el modelo de predicción indica riesgo de ocurrencia de enfermedades. El sistema de alertas para detectar la ocurrencia de enfermedades no permite capturar beneficios porque la aplicación de fungicidas se hace de todos modos.

Situación 2: No se realizan aplicaciones por calendario y el modelo indica riesgo de ocurrencia de enfermedades. El sistema de alertas para detectar la ocurrencia de enfermedades genera beneficios porque el modelo genera un alerta que permite optimizar el momento

⁵ Incidencia: indica el porcentaje de individuos enfermos respecto al total de individuos evaluados durante un monitoreo. Sirve para determinar el avance de la enfermedad.

Severidad: indica el porcentaje de la superficie de la hoja cubierta con signos de la enfermedad (manchas, pústulas).

en el que se efectúa el control (Ver Caso de optimización del momento de aplicación de fungicidas).

Situación 3: Se realizan aplicaciones por calendario pero el modelo de predicción indica bajo o nulo riesgo de ocurrencia de enfermedades. El sistema de alertas para detectar la ocurrencia de enfermedades permite capturar beneficios porque evita la realización de una pulverización innecesaria.

Situación 4: No se realizan aplicaciones por calendario y el modelo indica bajo o nulo riesgo de ocurrencia de enfermedades. El sistema de alertas para detectar la ocurrencia de enfermedades no permite capturar beneficios porque la aplicación de fungicidas no iba a realizarse y el sistema refuerza esa decisión.

		Realiza la aplicación de los fungicidas por calendario?	
		Sí	No
¿El modelo indica riesgo de ocurrencia de enfermedad?	Sí	Situación 1. No hay beneficio	Situación 2. Beneficio: Previene daños en cultivos
	No	Situación 3. Beneficio: Ahorro de aplicación. Reducción de costo	Situación 4. No hay beneficio

Tabla 6. Matriz de situaciones factibles de hallar a partir de la combinación de la forma en la que se decide realizar la aplicación de fungicidas (por calendario o no) y el riesgo de ocurrencia de enfermedades a partir de modelos de predicción.

El beneficio que se genera en la Situación 3 (Tabla 6) no se cuantifica en este informe. Esto responde a que, en ese caso particular, el beneficio se obtiene por dejar de realizar una aplicación de fungicida que se hacía por calendario; algo que no deja de ser una mala práctica agronómica. En esta situación la recomendación es realizar el monitoreo regular de los cultivos para conocer los niveles de incidencia y severidad de las enfermedades.

A continuación presentamos una forma de cuantificar el beneficio que genera el uso de los modelos de predicción de enfermedades. Consideramos la Situación 2 (Tabla 6). En este caso, si bien el monitoreo de los lotes se realiza de forma regular, el uso de modelos de predicción de enfermedades igualmente permite optimizar el momento para llevar a cabo el control con fungicidas y capturar beneficios.

Caso de optimización del momento de aplicación de fungicidas.

Durante el período posterior al chequeo de la calidad de implantación, el monitoreo de cultivos suele realizarse con menor frecuencia (cada 10 - 20 días). Posteriormente, y a medida que los cultivos se acercan al período crítico ⁶ en el que se define el rendimiento, la frecuencia de monitoreo tiende a intensificarse (empiezan a realizarse cada 7-10 días).

⁶ Es el periodo del cultivo en el cual un estrés biótico o abiótico genera las mayores mermas en el rendimiento. Esto es consecuencia de que durante dicho periodo, se están definiendo componentes relevantes para la determinación del rendimiento de los cultivos.

A continuación planteamos tres ejemplos factibles de hallarse en cultivos de trigo, en los que el uso de este tipo de funcionalidades podría reportar beneficios:

- Ejemplo 1:** Alertas que adelantan el inicio de los monitoreos.
 Por una decisión empresarial el monitoreo de los cultivos de trigo comienza a realizarse en Zadoks 2.5 ⁷ (pleno macollaje) y se intensifica a partir de Zadoks 3.1 ⁸ (inicio de encañazón). Antes del inicio del período de monitoreo, la plataforma emite una alerta de riesgo para una enfermedad determinada. A raíz de ello se decide anticipar el inicio del monitoreo del cultivo y se constata la presencia de la enfermedad. Contemplando el pronóstico del tiempo y la ocurrencia de condiciones climáticas predisponentes para el desarrollo de la enfermedad se realiza una aplicación de funguicidas.
- Ejemplo 2:** Alertas que reducen la frecuencia de los monitoreos y anticipan la toma de decisiones.
 El cultivo se encuentra en el estadio Zadoks 3.3 ⁹, cercano al comienzo del periodo crítico. La frecuencia de monitoreo es de 10 días. Durante un monitoreo se detecta una enfermedad con niveles de incidencia que no llegan al umbral de daño y se pospone la decisión de aplicar un funguicida para corroborarla en el siguiente monitoreo. Luego de 4 días de realizado el monitoreo en el que se detectó la presencia de la enfermedad, la plataforma emite una alerta de alto nivel de riesgo de ocurrencia de enfermedades. En lugar de esperar 6 días para volver a monitorear el lote, se decide anticipar la visita. Luego de confirmar el incremento del nivel de incidencia de la enfermedad y contemplando un pronóstico de lluvias para los días siguientes se toma la decisión de aplicar un funguicida. De esta forma, la alerta permite anticipar 6 días la aplicación del funguicida y evitar los eventuales retrasos ocasionados por lluvias para llevar a cabo el control de la enfermedad en tiempo y forma.
- Ejemplo 3:** Alertas que prolongan la ventana de los monitoreos.
 Ante las buenas condiciones sanitarias del cultivo, el monitoreo deja de realizarse hacia el inicio del periodo de llenado de granos (Zadoks 7.5). Luego de 3 días de realizado el último monitoreo, la funcionalidad emite una alerta indicando riesgo elevado de roya anaranjada por condiciones climáticas predisponentes. Por tal motivo se decide realizar un monitoreo extra del lote y ante la detección de pústulas de roya, se realiza una aplicación de funguicida. Con el correr de los días se registran las condiciones climáticas predisponentes pronosticadas y la enfermedad incrementa sus niveles de incidencia y severidad en los lotes no tratados afectando el rendimiento y la calidad de los granos cosechados.

En situaciones como las planteadas previamente, el uso de modelos de predicción de enfermedades permite optimizar su control y eficientizar el uso de funguicidas. En el primer ejemplo la tecnología permite anticipar la aplicación de funguicidas llevándola, incluso, a momentos en los que los monitoreos ni siquiera se realizan. En el segundo ejemplo, las alertas acortan la frecuencia de monitoreos y anticipan la aplicación de fungidas dentro de la ventana de tiempo en el que se lleva a cabo el monitoreo de los cultivos. En el tercer ejemplo, las alertas permiten intervenir en situaciones en las que si no contáramos con la tecnología quizá ni siquiera se hubiera detectado el problema.

A continuación se presenta un comparativo de casos real donde se cuantifica el beneficio económico que reporta la aplicación de funguicidas en el momento óptimo para el tratamiento de una enfermedad a partir del uso de un sistema de emisión de alertas por riesgo de ocurrencia de enfermedades.

⁷ Es el estadio del cultivo de trigo en el que se detectan 5 macollos.

⁸ Es el estadio del cultivo de trigo en el que se detecta 1 nudo del tallo principal por arriba de la superficie del suelo.

⁹ Es el estadio del cultivo de trigo en el que se detectan 3 nudos del tallo principal por arriba de la superficie del suelo.

Caso de Análisis:

- **Localidad:** Partido de Chacabuco, BA
- **Cultivo/ ciclo:** Trigo/ Intermedio
- **Fecha de siembra:** 6 de Junio
- **Frecuencia de monitoreo:** 10 días.
- **Caso A, utilizando modelos de predicción de enfermedades:**
Se monitorea un lote de trigo que se encuentra en el estadio de Zadoks 3.7 ¹⁰. Durante la recorrida del lote se observan bajos niveles de incidencia de roya anaranjada, por lo que se resuelve definir la aplicación del fungicida en el próximo monitoreo (10 días luego). Transcurridos 4 días a partir del momento en el que se realizó el monitoreo, la plataforma emite una alerta que notifica el aumento del nivel de riesgo de ocurrencia de la enfermedad. Se decide visitar el lote ese mismo día y no esperar el próximo monitoreo (que se haría dentro de 6 días). En el lote se verifica el aumento en la incidencia de la enfermedad y se decide realizar la aplicación del fungicida. En ese momento el cultivo se encuentra en Zadoks 3.9 ¹¹. Al finalizar la campaña se cosecha el cultivo y el rendimiento es de **5,1 Tn/Ha**.
- **Caso B, sin utilizar modelos de predicción de enfermedades:**
En un lote lindero, con condiciones de suelo y relieve, historia agrícola y manejo iguales al lote del Caso A también se procede a monitorear el cultivo en el estadio de Zadoks 3.7. Del mismo modo se relevan los niveles de incidencia de roya anaranjada y los registros se encuentran por debajo del umbral de daño. En base a esos datos se resuelve definir la aplicación de un fungicida en el próximo monitoreo (10 días). Pero en este caso no hay una alerta que notifique el incremento del nivel de riesgo de ocurrencia de la enfermedad. Transcurridos los 10 días, se realiza el siguiente monitoreo. Para ese momento el cultivo ya se encuentra en el estadio Zadoks 4.5 ¹² y la incidencia de la enfermedad aumentó. Por lo tanto se decide realizar la aplicación de un fungicida. Al finalizar la campaña se cosecha el cultivo y el rendimiento es de **4,6 Tn/Ha**.
- **Precios pizarra:** 308 USD/Tn.¹³

Al comparar ambas situaciones, se observa que en el Caso A el modelo de predicción de enfermedades permitió adelantar 6 días la aplicación de un fungicida. Esto permitió anticipar el control de la enfermedad y frenar su avance. El cultivo sufrió menores niveles de daño y pérdidas de rendimiento. Al momento de la cosecha de los cultivos, en el Caso A se cosecharon 500 Kg./Ha. más que el Caso B. El beneficio que reporto el uso de modelos de predicción de enfermedades se puede cuantificar multiplicando el rendimiento diferencial que se obtuvo por el precio de la tonelada de grano.

Beneficio = (Rto. aplicación a tiempo – Rto. aplicación tardía) × precio del grano

$$Beneficio = \left(5,1 \frac{Tn.}{Ha.} - 4,6 \frac{Tn.}{Ha.} \right) \times 308 \frac{USD}{Tn.} = 154 USD/Ha.$$

¹⁰ Es el estadio del cultivo de trigo en el que se detecta la punta de la hoja bandera visible.

¹¹ Es el estadio del cultivo de trigo en el que la hoja bandera se encuentra completamente expandida.

¹² Es el estadio del cultivo de trigo comúnmente denominado como “vaina engrosada”.

¹³ El precio de la tonelada de trigo disponible, promedio de los últimos 3 años. [Agroseries CREA 07/2024](#)

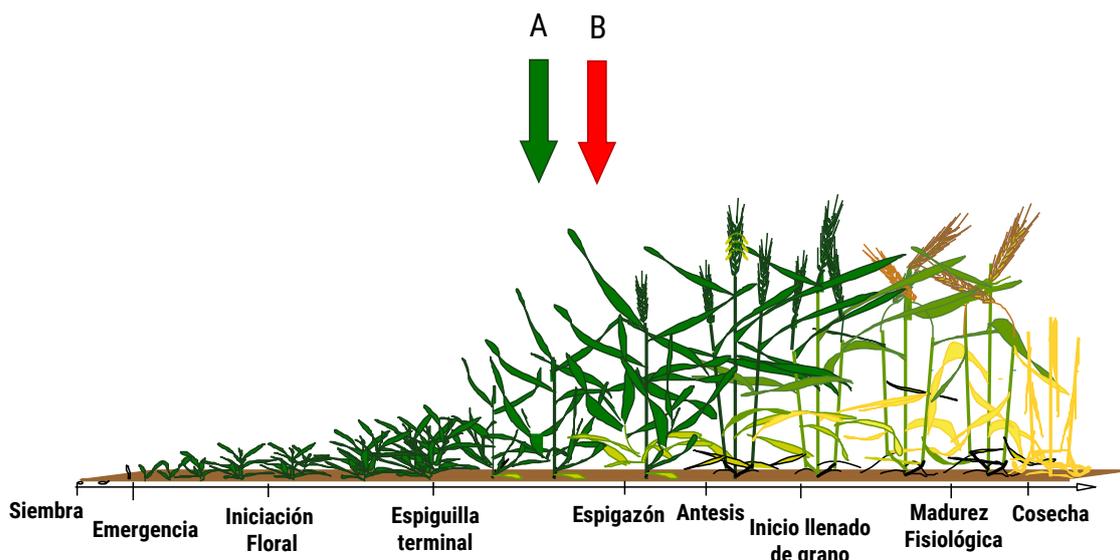


Figura 4. Esquema del ciclo de cultivo de trigo (Adaptado de Slafer and Rawson, 1994). En el mismo se indica con una flecha verde la aplicación de fungicidas correspondiente al Caso A y con una flecha roja se indica la aplicación correspondiente al Caso B.

Como se observa en el caso previamente presentado, la magnitud del beneficio depende de dos variables. Por un lado, está directamente vinculada con la respuesta productiva lograda por aplicar el fungicida en tiempo y forma. Por otro lado, depende del precio de venta del grano. En la tabla 7 se presenta un análisis de sensibilidad del incremento de ingresos logrado por optimizar el momento de control de enfermedades ante variaciones en la respuesta a la aplicación de fungicida (entre 50 Kg./Ha. y 500 Kg./Ha.) y el precio de la tonelada de trigo (desde 240 USD/Tn. hasta 330 USD/Tn).

Tabla 7. Incremento de ingresos (USD/Ha.) por optimizar el momento de aplicación de fungicidas a partir del uso de un sistema de emisión de alertas de ocurrencia de enfermedades, en función del incremento en la respuesta del cultivo por optimizar el momento de aplicación de los fungicidas y el precio de la tonelada de trigo.

		Incremento en la respuesta del cultivo (Kg./Ha.) por optimizar el momento de aplicación de fungicidas									
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
Precio de la tonelada de trigo (USD/Tn.)	240	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
	250	13	25	38	50	63	75	88	100	113	125
	260	13	26	39	52	65	78	91	104	117	130
	270	14	27	41	54	68	81	95	108	122	135
	280	14	28	42	56	70	84	98	112	126	140
	290	15	29	44	58	73	87	102	116	131	145
	300	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
	310	16	31	47	62	78	93	109	124	140	155
	320	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160
	330	17	33	50	66	83	99	116	132	149	165

Cómo se lee la tabla?

- **Ingreso por incremento en la respuesta del cultivo:** Si la optimización del momento de aplicación de fungicidas genera un incremento en la respuesta del cultivo del orden de los 300 Kg./Ha., para obtener un aumento en el ingreso de 81 USD/Ha., el precio de la tonelada de trigo tiene que ser de 270 USD/Tn., al menos.

- **Ingreso por precio del grano:** Si el precio de la tonelada de trigo es de 310 USD/Tn., para obtener un aumento en el ingreso de 140 USD/Ha., el incremento en la respuesta del cultivo por optimizar el momento de aplicación de funguicidas debe ser de 450 Kg./Ha.
- **Ingreso por incremento en los ingresos:** Si se pretende lograr un incremento de ingresos de al menos 30 USD/Ha, y el precio de la tonelada de trigo es de 300 USD/Tn., el incremento en la respuesta del cultivo por optimizar el momento de aplicación de funguicidas debe ser igual o mayor a 100 Kg./Ha.

Repago de la inversión

Una forma práctica de analizar la conveniencia (o no) de utilizar este tipo de plataformas puede hacerse contrastando el costo de suscripción a las mismas con los beneficios que potencialmente reportaría su uso. Es importante tener en cuenta que las plataformas cuentan con múltiples herramientas y cada una tiene un beneficio potencial específico. En este informe analizamos el retorno de la inversión tomando en consideración los beneficios previamente presentados en este informe.

- Costo: es el precio que se paga para suscribirse a la plataforma.
Mayor costo de suscripción, menor repago de la inversión.
- Beneficios: son todos los ingresos adicionales capturados a partir del uso de las plataformas.
Mayor cantidad de beneficios capturados, mayor repago de la inversión.
Siguiendo con los ejemplos presentados previamente en este informe, los beneficios que reportaría el uso de esta tecnología se obtendrían por:
 - Mejorar la eficiencia de monitoreo de cada lote.
Mayor velocidad de monitoreo determina mayor cantidad de Has. monitoreadas,
Más hectáreas monitoreadas, mayor beneficio.
 - Reducir el lapso de tiempo entre la detección de problemas y la ejecución de acciones.
Acceder a información de forma más rápida, acelera el proceso de toma de decisiones y de la ejecución de acciones. Eventualmente, esto reduce pérdidas de rendimiento ocasionadas por demoras en el proceso detección-ejecución-acción.
Más reducción de tiempo entre la detección y la acción, mayor beneficio.
 - Optimizar el momento de control de enfermedades a partir del uso de modelos predictivos y alertas.
Anticipar la detección de enfermedades, permite realizar un control más eficiente de las mismas, reduciendo pérdidas de rendimiento
Mayor anticipación en el control de enfermedades, mayor beneficio

La Tabla 8 presenta un análisis de sensibilidad del beneficio capturado con cada herramienta analizada en este informe en función de variaciones en la superficie total analizada con la Plataforma de Agricultura Digital y el porcentaje de mejora logrado por el uso de cada herramienta. La cuantificación del beneficio total obtenido a partir del uso de las tres herramientas analizadas en este informe se obtendría sumando los beneficios obtenidos a partir del uso de cada herramienta individual. Al pie de cada tabla donde se sensibiliza el beneficio para cada herramienta analizada, se aclaró cuáles fueron los supuestos que se consideraron para realizar los cálculos.

Tabla 8. Beneficios capturados a partir del uso de 3 funcionalidades disponibles en Plataformas de Agricultura Digital.

8.1. Beneficio 1: Mejora en la eficiencia en el monitoreo de cultivos (mediante Mapas de monitoreo).

		Superficie total (Ha.)										
		500	700	900	1.100	1.300	1.500	1.700	1.900	2.100	2.300	2.500
Reducción en el tiempo operativo del monitoreo (%)	5%	118	166	213	261	308	355	403	450	497	545	592
	10%	250	350	450	550	650	750	850	950	1.050	1.150	1.250
	15%	397	556	715	874	1.032	1.191	1.350	1.509	1.668	1.826	1.985
	20%	563	788	1.013	1.238	1.463	1.688	1.913	2.138	2.363	2.588	2.813
	25%	750	1.050	1.350	1.650	1.950	2.250	2.550	2.850	3.150	3.450	3.750
	30%	964	1.350	1.736	2.121	2.507	2.893	3.279	3.664	4.050	4.436	4.821

Para el cálculo de este beneficio se consideró que el monitreador dedica la misma cantidad de tiempo a las labores de monitoreo ya sea que use o no la plataforma. Por tal motivo, el beneficio se cuantifica a partir de las Has. extra que puede monitorear por la mejora en la eficiencia de monitoreo que logra por utilizar la plataforma en el período de tiempo que dedica a la tarea. Se tomó como precio de referencia de monitoreo 4,5 USD/Ha. (Ver Tabla 2).

8.2. Beneficio 2: Reducción del lapso de tiempo entre la detección de problemas y la ejecución de acciones.

		Superficie total (Ha.)										
		500	700	900	1.100	1.300	1.500	1.700	1.900	2.100	2.300	2.500
Porcentaje del área donde mejora el control de la adversidad (%)	2,5%	205	287	369	451	533	615	697	779	861	943	1.025
	5,0%	410	574	738	902	1.066	1.230	1.394	1.558	1.722	1.886	2.050
	7,5%	615	861	1.107	1.353	1.599	1.845	2.091	2.337	2.583	2.829	3.075
	10,0%	820	1.148	1.476	1.804	2.132	2.460	2.788	3.116	3.444	3.772	4.100
	12,5%	1.025	1.435	1.845	2.255	2.665	3.075	3.485	3.895	4.305	4.715	5.125
	15,0%	1.230	1.722	2.214	2.706	3.198	3.690	4.182	4.674	5.166	5.658	6.150
	17,5%	1.435	2.009	2.583	3.157	3.731	4.305	4.879	5.453	6.027	6.601	7.175
	20,0%	1.640	2.296	2.952	3.608	4.264	4.920	5.576	6.232	6.888	7.544	8.200

Para el cálculo de este beneficio se consideró que el rendimiento del cultivo de soja sin daño por defoliación (control) fue de 3.500 Kg./Ha. y que el uso de una Plataforma de Agricultura Digital permitió aplicar un insecticida 4 días antes respecto de una situación donde el registro de datos se realiza de forma convencional (Ver Tabla 4).

8.3. Beneficio 3: Optimización del momento del control de enfermedades a partir del uso de modelos predictivos y alertas.

		Superficie total (Ha.)										
		500	700	900	1.100	1.300	1.500	1.700	1.900	2.100	2.300	2.500
Porcentaje del área donde mejora el control de la adversidad (%)	1,5%	231	323	416	508	601	693	785	878	970	1.063	1.155
	3,0%	462	647	832	1.016	1.201	1.386	1.571	1.756	1.940	2.125	2.310
	4,5%	693	970	1.247	1.525	1.802	2.079	2.356	2.633	2.911	3.188	3.465
	6,0%	924	1.294	1.663	2.033	2.402	2.772	3.142	3.511	3.881	4.250	4.620
	7,5%	1.155	1.617	2.079	2.541	3.003	3.465	3.927	4.389	4.851	5.313	5.775
	9,0%	1.386	1.940	2.495	3.049	3.604	4.158	4.712	5.267	5.821	6.376	6.930
	10,5%	1.617	2.264	2.911	3.557	4.204	4.851	5.498	6.145	6.791	7.438	8.085
	12,0%	1.848	2.587	3.326	4.066	4.805	5.544	6.283	7.022	7.762	8.501	9.240

Para el cálculo de este beneficio se consideró que el uso de los modelos de predicción de enfermedades de trigo permitió adelantar la aplicar de fungicidas 5 días. Se consideró una mejora en la respuesta a la aplicación anticipada del fungicida de 100 Kg./Ha. y un precio de venta del grano de 308 USD/Tn. (Ver Tabla 7).

Cómo se lee la tabla?

Para cada uno de los beneficios, la tabla se puede leer de la siguiente manera:

- **Ingreso por porcentaje de mejora capturado al utilizar una determinada herramienta/ funcionalidad:** Se ingresa por el porcentaje de mejora que se capturó o se espera capturar por utilizar la plataforma (filas). Luego se posiciona en la superficie que se va a gestionar con la Plataforma de Agricultura Digital (columnas). Finalmente, a partir del cruce entre la fila y la columna seleccionadas se obtiene el beneficio esperado a partir del uso de la herramienta/ funcionalidad.
- **Ingreso por superficie gestionada con la plataforma:** Se ingresa por la superficie que se va a gestionar con la Plataforma de Agricultura Digital (columnas). Luego se posiciona en el porcentaje de mejora que se capturó o espera capturar por utilizar la plataforma (filas). Finalmente, a partir del cruce entre la columna y la fila seleccionadas se obtiene el beneficio esperado a partir del uso de la herramienta/ funcionalidad.
- **Ingreso por incremento en los ingresos:** Se debe seleccionar un valor de beneficio esperado particular. Luego se observa el valor de superficie que resulta necesaria para lograr dicho beneficio (columna) y el porcentaje de mejora que es necesario lograr a partir del uso de la herramienta/ funcionalidad (fila).

Caso de análisis

A continuación se presenta un caso en el que se dimensiona la magnitud de los beneficios que se necesita obtener para cubrir el costo de una suscripción a las herramientas de una plataforma particular.

Tomamos como referencia la plataforma Xarvio, cuyo costo de suscripción a las herramientas *Visualización PRO* y a *Spray timer* es de 1 USD/Ha¹⁴.

Planteamos un caso hipotético que considera a una empresa agrícola que gestiona 700 Has. que están distribuidas en cuatro bloques de lotes en una radio de 50 Km. en torno a una localidad de referencia en la zona Sur de Santa Fe. Esta empresa gestiona el 100% de la superficie sembrada con una Plataforma de Agricultura Digital. Asumimos que el beneficio global capturado a partir del uso de la plataforma es el resultado de un mix de beneficios parciales capturados a partir del uso de las herramientas analizadas en este trabajo definidos de forma arbitraria (ver celdas recuadradas en la columna de 700 Has. en las 3 secciones de la Tabla 8).

En el caso del Beneficio 1, asumimos una mejora del 5% en la velocidad de monitoreo (fila 1 en la Sección 1 de la Tabla 8). Esa mejora significa que en el mismo tiempo dedicado a la tarea, el monitoreador podría controlar 37 Has. adicionales. Si valorizáramos esa cantidad de Has. extra factibles de ser monitoreadas a precio de mercado (en el caso analizado 4,5 USD/Ha./campaña), el beneficio capturado a partir del uso de esta funcionalidad particular sería de 166 USD/año.

En el caso del Beneficio 2, asumimos una reducción de 4 días en el lapso de tiempo que transcurre entre el momento en el que se lleva a cabo el monitoreo en un lote de soja (y se detecta la adversidad) y la realización del control (fila 2 en la Sección 2 de la Tabla 8). Y consideramos que este beneficio solo se captura en el 5% de la superficie sembrada (podría ser un único lote de 35 Has. en este ejemplo). En ese caso, el ingreso extra capturado a partir de una funcionalidad de este tipo sería del orden de los 574 USD/año.

¹⁴ Precio de cada herramienta mencionada es de 0,5 USD/Ha. Cada herramienta puede contratarse por separado o combinando más de una herramienta para una misma hectárea.

En el caso del Beneficio 3, asumimos que anticipar 5 días la aplicación de un fungicida para optimizar el momento de control y mejorar su eficiencia, genera una respuesta de 100 Kg./Ha. (fila 1 en la Sección 3 de la Tabla 8). Suponiendo que este beneficio solo se obtiene en el 1,5% de la superficie sembrada (en el ejemplo podría ser una zona de 10,5 Has. de uno de los lotes sembrados con trigo) el ingreso adicional capturado sería de unos 323 USD/Ha.

Para este caso de análisis particular, considerando el mix y la magnitud de los beneficios parciales asumidos, el beneficio global capturado a partir del uso de las tres herramientas analizadas ascendería a los 1.063 USD/año. Ese monto de ingresos adicionales supera el costo de adquirir las herramientas en la plataforma (700 USD/año) generando, incluso, un beneficio neto. Como se observa, en este caso hipotético de análisis particular el repago de la inversión se logra a partir de capturas de beneficios de poca cuantía en una proporción de la superficie gestionada relativamente baja.

Servicio postventa

Las empresas ofrecen soporte remoto/telefónico, incluso para usuarios que utilizan las versiones gratuitas de las plataformas. También realizan capacitaciones para reducir la cantidad de tiempo requerido por los usuarios para aprender a utilizar las herramientas que ofrecen. La capacidad de respuesta ante consultas o reclamos suele ser rápida (durante el mismo día o al día siguiente), aunque algunas empresas pueden demorar un poco más.

Referencias

Páginas web e información de contacto de las empresas proveedoras:

Empresa	
	WEB: https://www.xarvio.com/ar NOMBRE y APELLIDO: Nicolás Martínez Cuesta, Dr., MBA TELEFONO: +54 9 249 421-4783 E-MAIL: nicolas.martinez-cuesta@basf.com
	WEB: https://agriculturaexperta.com/ E-MAIL: experta@agd.com.ar
	WEB: https://www.auravant.com/
Otros proveedores	Campo 360, Cropwise, echelon, PUMA y SIMA.