

Experiencia en agricultura de precisión en NAVARRO SA:

Soluciones agronómicas

“Lo que no se mide, no se puede mejorar”.



Autor: Juan Francisco Alconcher
Tutor: Dr. Juan Manuel Martínez
Consejeros: Ing. Agr. Nicolas Fernández
Mg. Roberto J. Kiessling

Asesor Técnico
Consejero externo: Ing. Agr Matias Ene

Departamento de Agronomía
Universidad Nacional del Sur
Bahía Blanca, marzo de 2026

Agradecimientos.

Primero y principal agradezco a mi familia, mi mamá, mi papá y mi hermano que supieron contenerme, apoyarme y tolerarme durante todos estos años de carrera, con su acompañamiento incondicional y sin reproches, estando presentes en buenas y malas para reír y llorar. Agradezco a mi familia, mis tíos, primos y abuelos por formar parte de mi pasado y presente, formando mi carácter, mi personalidad y mis intereses, acompañando desde un almuerzo, un viaje o una llamada durante todo el proceso vivido. A los que ya no están, Cuca, Ju y coco, mis abuelos por ser parte de mi pasado, presente y por siempre el futuro, por la huella que supieron dejar en mí, formando con pequeñas acciones el hombre que soy hoy en día, el profesional en el que me convertí y por siempre guiarme en las decisiones del futuro. A mi novio Juli, que es mi compañero de vida que con su entrega de amor inmenso me motiva cada día a mejorar y que me sostuvo y sostiene durante los malos momentos. Agradezco de él su amor, su compromiso, su lealtad y la relación que construimos basada en la admiración mutua, el respeto y un profundo amor. A todos mis amigos, Lucas, Ramiro, Sebastian, Giuliano, Manuel, Milagros, Manuela, Triana, Luciana, Tomas, Juane y Luciano y tantos otros dados por la universidad por hacer más fácil el día a día riendo en los malos momentos y apoyándome cuando fue necesario, por enseñarme lo que significa la amistad de pueblo y como existen mil formas de ser y vivir la ruralidad. A mis amigos de colegio y vida, Juli, Cami, Coni, Tomas, Augusto, Mili, Maca Mate, Ian, Tomi y Mano, les agradezco el vínculo de fraternidad que tenemos y la forma en que logran llenar de vida y color mis momentos. Gracias por acompañarme en momentos difíciles y estar presentes sin presiones en los momentos en los que aprendí quién era yo y que significaba. Agradezco además a mi tutor y consejeros por el acompañamiento en esta etapa final de formación profesional, guiando mis dudas y resolviendo mis problemas, también quiero mencionar a Mati Enne, que desde su lugar de asesor externo me enseñó y acompañó con gran paciencia.

RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
La Agricultura de Precisión	5
La maquinaria agrícola para la AP	10
Navarro S.A.	11
Misión	12
Visión	12
Valores	12
Pasantía laboral en Navarro SA	12
OBJETIVOS	18
TAREAS REALIZADAS:	18
Análisis de suelo	18
Atención remota de maquinaria	24
Solución de pulverización:	25
Solución de cosecha:	27
CONSIDERACIONES FINALES	38
BIBLIOGRAFÍA	39

RESUMEN

En los últimos años se han introducido en el sector agrícola una serie de herramientas digitales que proporcionan posicionamiento geoespacial con grandes resultados y precisión destacable. Estas tecnologías, aplicadas al sector agrícola, han permitido el desarrollo de una nueva agricultura conocida como agricultura de precisión (AP), cuyo eje central radica en la aplicación variable de insumos (como semillas, fertilizantes, etc.) en el momento adecuado y en el lugar exacto según la heterogeneidad edafológica, climática y por posición en el paisaje que existe dentro de cada lote. En nuestro país, la experimentación en estas tecnologías se inicia alrededor de la década del 90, en la EEA INTA Manfredi. En la región del sudoeste bonaerense, la AP no ha sido cuantificada y solo ha sido adoptada y llevada adelante por productores con perfiles innovadores. Existe una tendencia a desarrollar nueva maquinaria agrícola que integra innovadores sensores junto al equipamiento para realizar operaciones en el campo, de modo que se ajuste su funcionamiento a las necesidades del cultivo de manera inteligente y automática. De esta manera, las máquinas agrícolas son cada vez más inteligentes y se adaptan dinámicamente a las condiciones del cultivo y del ambiente, así como a los requisitos de producción del agricultor. El diagnóstico edáfico de los lotes tomo dentro de este contexto de tecnificación un posicionamiento clave para maximizar los rendimientos y minimizar el mal uso de insumos, por lo cual diversas empresas locales han incorporado a sus servicios herramientas de muestreo y ambientación de lotes, para descubrir principalmente la fertilidad de sus lotes en muestras grandes y significativas, la resistencia a la penetración parámetro físico que determina la exploración de raíces en profundidad, la infiltración de agua y en consecuencia el rendimiento de cultivos y pasturas y la profundidad efectiva que en nuestra zona está relacionada con el horizonte petrocálcico y que también supone una gran limitante si se encuentra dentro de los horizontes de máxima exploración radical. Hoy en día son numerosas las firmas nacionales e internacionales que han incorporado las nuevas herramientas necesarias para llevar adelante la AP. Entre las más reconocidas, se destaca John Deere, que se encuentra representada en la región por la firma Navarro S.A. En 2021, suscribieron un convenio marco con el Departamento de Agronomía de la Universidad del Sur a partir del cual se implementó una serie de pasantías laborales para alumnos avanzados de la carrera de Ingeniería Agronómica. Este trabajo corresponde a una de ellas y tiene por objetivo analizar el área recientemente implementada bajo el nombre de “Soluciones Agronómicas”, centrado en las aplicaciones utilizadas en momentos clave de la producción. Este trabajo analiza los resultados de las aplicaciones utilizadas en la “solución cosecha” de un lote de cebada cervecera (*Hordeum vulgare*) en las cercanías de la localidad de Lamadrid desde el punto de vista técnico y económico, así como la implementación de muestreos dirigidos con un penetrómetro electromecánico para fertilidad, penetrómetro y profundidad efectiva, en diferentes lotes con la finalidad de elevar mapas georreferenciados y ambientados, herramientas claves y muy útiles que los productores tecnificados demandan.

INTRODUCCIÓN

La labranza de la tierra marcó un cambio fundamental en la humanidad; permitió la transición de un estilo de vida nómada a uno sedentario. Su desarrollo se dio de forma independiente y en épocas distintas; en Nueva Guinea, China, la Creciente Fértil del Medio Oriente (Israel, Líbano, Siria, Irak, Irán y Turquía), el este de Norteamérica (Canadá y Estados Unidos de América o EUA), Perú y México. (Ocampo y Santa Catarina, 2018). Pero dicha agricultura convencional y milenaria en las épocas actuales atraviesa grandes desafíos como la creciente población mundial, los reclamos de mercados más rigurosos, las catástrofes climáticas y la necesidad de reducir su impacto ambiental, lo cual ya desde hace 3 décadas se está desarrollando una revolución conocida como la agricultura de precisión.

Desde la década de los 90, la agricultura ha experimentado una serie de cambios evolucionarios, que ayudan a la mejora en seguridad de los agricultores, calidad del producto y eficiencia en el uso de insumos, este último cobrando especial relevancia en los últimos años de desarrollo tecnológico. En los últimos años se han introducido en el sector agrícola una serie de herramientas digitales que proporcionan posicionamiento geoespacial con un mínimo error ubicación que dan grandes resultados operativos. Estas tecnologías, aplicadas al sector agrícola, han permitido el desarrollo de una nueva agricultura conocida como Agricultura de precisión (AP). Es decir, que la AP queda definida como *el uso de tecnologías de procesos de la información para adecuar el manejo de los suelos y cultivos a la variabilidad presente en un lote* (García y Flego, 2004). Años atrás, el único objetivo era lograr la máxima producción en la explotación, con el nuevo concepto de AP se atiende también la gestión de los establecimientos teniendo en cuenta aspectos socioeconómicos y ambientales, en línea con los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU y lograr no los mayores rindes si no los beneficios económicos mayores. **La Agricultura de Precisión**

El objetivo de la AP es disponer de la mayor cantidad de datos posible para que el agricultor tome la decisión más adecuada basada empíricamente sobre las variaciones agronómicas principalmente edáficas y climáticas dentro de una parcela, para que cada sub-ambiente de terreno se labore, fertilice, siembre, riegue, etc. en la proporción ideal de manera de conseguir la máxima producción posible en cada punto y al mismo tiempo minimizando los costos directos.

La AP debe evaluarse bajo tres dimensiones fundamentales: viabilidad económica, aceptación social y sostenibilidad ambiental (Elkington y Rowlands, 1999; FAO, 2014).

Esto conlleva una reducción de costos de producción y una gestión agrícola más respetuosa con el medio ambiente, ventajas que pueden resumirse en (Valero Ubiema, 2001):

- Optimización del uso de recursos costosos
- Reducción de los contaminantes ambientales
- Mejor aprovechamiento de la maquinaria agrícola
- Mayor facilidad de gestión de la explotación agrícola
- Incremento de la producción

La AP maneja las variables y administra eficientemente los insumos logrando una mayor sostenibilidad al minimizar tanto los recursos invertidos, como el impacto ambiental y los riesgos agroalimentarios, y al mismo tiempo maximiza la producción. Además, permite reducir hasta 90% el uso de insumos agrícolas que son liberados al medio ambiente. Su uso depende de las tecnologías de la información, en donde la comunicación entre dispositivos es una de las herramientas más importantes (Ocampo y Santa Catarina, 2018). Esta digitalización de la agricultura es soportada por las tecnologías de la información y comunicación para la gestión de datos y conocimientos. Entre ellas se destacan los Sistemas Globales de Navegación por Satélites (GNSS) y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) creado con fines militares en EEUU para ser un sistema de navegación más preciso. También utiliza la aplicación sistemática de herramientas digitales, sensores para la aplicación de productos para el control de malezas, uso de imágenes satelitales para determinar ambientes ó para seguimiento de cultivos, uso de drones que permiten realizar monitoreos más fáciles y rápidos, así como trabajos de pulverización, o inteligencia artificial para el reconocimiento de malezas a campo, utilización de nuevos softwares que acompañan y facilitan todo este proceso. El ciclo de la AP inicia con la toma de datos a campo, proceso clave donde puede radicar el mayor porcentaje de error, luego le sigue el análisis de estos, contextualizarlos y sacarles provecho, para poder tomar la mejor de las decisiones dentro del planteo productivo y llevarlas a cabo dentro de las capacidades logísticas y económicas del establecimiento (Figura 1).



Figura 1. Ciclo de la agricultura de precisión (Adaptado García, E., & Flego, F. (2008)

En Argentina, las herramientas de la AP más utilizadas son el monitor de rendimiento y el sistema por guía GPS, también conocido cotidianamente como “Banderillero satelital”. También se incluyen la aplicación de densidades de siembra variable, dosis variable de fertilizantes, manejo localizado de malezas en barbechos verde sobre marrón o en cultivo conocidos como verde sobre verde, este último siendo una tecnología más reciente y con menor desarrollo y plagas de insectos en menor medida y sensores remotos, entre muchas otras aplicaciones (García y Flego, 2004). Existen variables que mejoran la precisión y la calidad del trabajo tales como las imágenes satelitales o utilizando drones multiespectrales, los índices de vegetación, datos de profundidad del horizonte cementado de carbonato de calcio como también la compactación del perfil y sus variaciones verticales, software (GIS) y estadísticos, curvas de nivel, entre otras herramientas que benefician y complementan el manejo de AG.

Primero se deben conocer bien los lotes con los que se desea trabajar y la variabilidad que poseen. Si el manejo de la variabilidad justifica económicamente la inversión probablemente este círculo termine con un manejo variable de insumos (Marote, 2010). Para determinar las variabilidades se utilizan curvas de nivel, promedios históricos de precipitaciones y temperaturas, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) histórico, como métodos directos se destacan el relevamiento de especies indicadoras de condiciones edafoclimáticas, análisis de muestras de suelos, calicatas para determinación de horizontes y profundidad efectiva, entre muchos otros métodos directos e indirectos que otorgan información sobre el lote y un manejo eficiente.

Tanto para la recolección de los datos, armado de mapas y ejecución de los trabajos es vital para la AP contar con la localización exacta de las variaciones dentro de la parcela, es imprescindible el uso de un sistema que permita identificar con el menor error posible la posición de la maquinaria trabajando en el campo con relación a las coordenadas terrestres (latitud, longitud). Esto es posible gracias al uso de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) y de las comunicaciones vía satélite. La máquina (tractor, cosechadora, etc.) dispondrá de un receptor por el que le llegan las señales desde varios satélites, y el sistema electrónico es capaz de calcular las coordenadas correspondientes (Tabla 1).

Tabla 1 Herramientas para la Agricultura de precisión

Tecnología	Ejemplos
GPS	<ul style="list-style-type: none"> • Satélites NAVSTAR
GIS y software relacionado	<ul style="list-style-type: none"> • ARC-INFO • Agri-Logic • Magellan Waypoint
Sensores remotos	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores de nitrógeno • Agro Drone • Satélites Landsat
Monitores de rendimiento y aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • AG Leader • Green Star John Deere
Maquinaria inteligente	<ul style="list-style-type: none"> • Detección/recolección de frutos • Piloto automático en tractores • Uso de inteligencia artificial

La AP funciona en un ciclo y puede dividirse en cuatro etapas:

1. *Adquisición de datos*
2. *Análisis de los datos*
3. *Toma de decisiones*
4. *Puesta en marcha.*

En la Argentina, la experimentación y adopción de tecnologías vinculadas a la AP se inició hacia la década de 1990, impulsada principalmente por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Uno de los principales referentes en este proceso fue el Ingeniero Agrónomo Mario Bragachini, desde la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Manfredi, quien promovió activamente la incorporación de estas herramientas al sistema productivo. Como resultado de estos trabajos, en el año 1995 se obtuvo el primer mapa de rendimiento de un lote de maíz en la localidad de Monte Cristo, cercana a la ciudad de Córdoba, puntapié inicial en el país para la replicación de esta tecnología de procesos. En la región del sudoeste bonaerense, la adopción de la AP no ha sido ampliamente cuantificada y, en general, ha sido implementada por productores innovadores, muchas veces acompañados por instituciones como AAPRESID y AACREA.

La revolución de la agricultura de precisión, vino acompañada del uso de índices de vegetación de manera remota, herramienta útil para el seguimiento de avances en el cultivo, evidenciar el impacto de fenómenos meteorológicos, realizar ambientaciones y evaluar implantación o pastoreos, el más difundido en su uso es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) que es un indicador espectral ampliamente utilizado en agricultura para estimar el estado y vigor de la vegetación. Se calcula a partir de la diferencia normalizada entre la reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) y en el rojo, aprovechando el comportamiento típico de la vegetación sana, que absorbe fuertemente la radiación roja para la fotosíntesis y refleja en gran medida el infrarrojo cercano. De esta manera, el NDVI se asocia principalmente con la cantidad de biomasa verde, el grado de cobertura del cultivo y su actividad fotosintética general. El cálculo del NDVI (ecuación 1) implica el uso de una simple fórmula con dos bandas, el Infrarrojo Cercano (NIR) y el rojo (RED). Los valores de este índice fluctúan entre -1 y 1. Diversos estudios y publicaciones señalan que valores por encima de 0.1 indican presencia de vegetación, y cuanto más alto

8

sea el valor de este índice, las condiciones de vigor son mejores. (Martín, Walter Oscar, 2021)

Ecuación 1. Ecuación del NDVI

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{(NIR + RED)}$$

Por su parte, el índice de vegetación de diferencia normalizada verde (GNDVI) utiliza el infrarrojo cercano (NIR) y la banda verde (Green) en lugar de la roja (Figura 2). Este índice resulta más sensible a variaciones en la concentración de clorofila y en el estado nutricional del cultivo, especialmente en situaciones de alta cobertura vegetal, donde el NDVI tiende a saturarse. Por este motivo, el GNDVI suele ser más adecuado para detectar estrés temprano, diferencias nutricionales y variabilidad intra-lote en estadios avanzados del cultivo.

En términos de utilidad, ambos índices permiten caracterizar la variabilidad espacial del lote y son herramientas clave para la ambientación y el manejo sitio-específico. Mientras que el NDVI es más robusto y de uso general para describir la dinámica del cultivo a lo largo del ciclo, el GNDVI aporta mayor sensibilidad en condiciones de alta biomasa y resulta complementario para análisis más finos del estado fisiológico del cultivo. El uso combinado de ambos índices mejora la interpretación de la información satelital y la toma de decisiones.

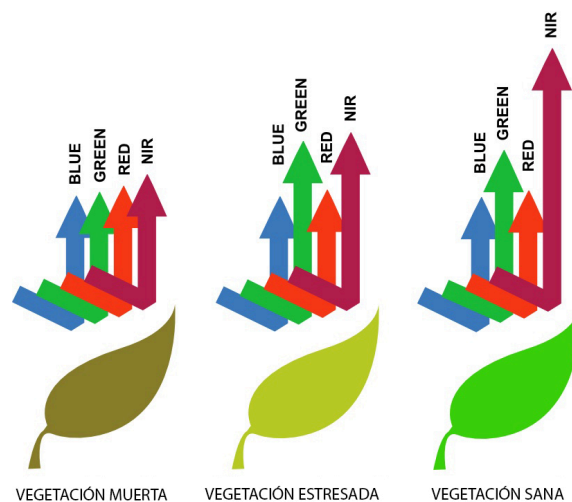


Figura 2. ilustración sobre la reflectancia de luz sobre diferentes condiciones de cultivo.

El uso de estas tecnologías representa una gran oportunidad para mejorar los rendimientos y aumentar la eficiencia productiva en el sudoeste bonaerense, debido a la marcada variabilidad existente entre lotes y dentro de los mismos, característica propia de la región y que representa para los productores una oportunidad sencilla y suficientemente exacta como para desarrollar ambientaciones y prescripciones, otorgando a la agricultura de precisión una herramienta que impulsa la tecnología y acelera la adopción de la misma a escala regional.

La maquinaria agrícola para la AP

En la actualidad, existe una tendencia a desarrollar nueva maquinaria agrícola que integra innovadores sensores junto al equipamiento para realizar operaciones en el campo, de modo que se ajuste su funcionamiento a las necesidades del cultivo de manera inteligente y automática. La sensorización y conexión de las diferentes fuentes de datos resulta clave en este nuevo entorno de la AP, de este modo, las máquinas agrícolas son cada vez más inteligentes y se adaptan a las condiciones del cultivo y del ambiente, así como a los requisitos de producción del agricultor. La interoperabilidad -máquinas conectadas entre sí - es un factor clave de éxito en la AP. Cuando estas máquinas se comunican con los sistemas relacionados, por ejemplo, los sistemas de gestión agrícola, estamos ante una nueva realidad del mercado de la maquinaria agrícola.

El mercado de maquinaria agrícola muestra un claro aumento en las ventas y la adopción de maquinaria o agregados a maquinaria para la agricultura de precisión, de todas formas en la encuesta realizadas por el INTA muestran que la adopción de AP en la región pampeana aún es limitada, pero los resultados muestran un impacto positivo y significativo en los rendimientos de soja y un incremento de casi 3% en el ingreso bruto por hectárea de las explotaciones agrícolas adoptantes, evidenciando su potencial productivo y económico. (Felici y Gatti, 2025).

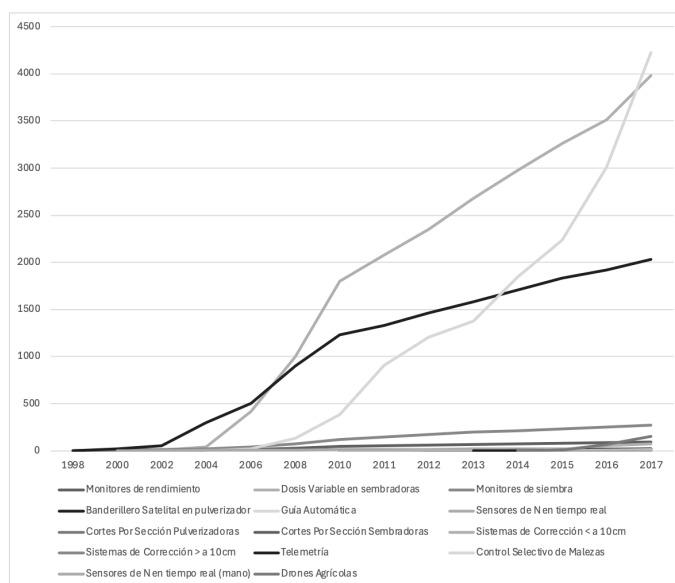


Figura 3. Evolución de las ventas de AP en Argentina (Guaglianone, 2019).

Por su parte el gran motor de este cambio John Deere fundada en **1837** en Grand Detour, Illinois, tras inventar el primer arado de acero fundido autolimpiante, sostiene desde entonces el alto nivel de calidad y el compromiso con la satisfacción de sus usuarios se han mantenido a lo largo del tiempo, permitiendo que aquel pequeño taller se transformara en Deere & Company. Con sede central en Moline, Illinois (Estados Unidos), la empresa posee presencia a nivel mundial y organiza sus actividades en cuatro divisiones principales:

- Equipos agrícolas (tractores, sembradoras, cosechadoras y pulverizadoras);
- Equipos de construcción y forestales;
- Motores diésel;
- Divisiones de apoyo, que incluyen servicios financieros, energéticos y provisión de repuestos y reparaciones

Actualmente, John Deere tiene presencia en más de 130 países, cuenta con más de 55.000 empleados a nivel global y posee operaciones productivas en 15 países, entre los que se encuentran Argentina, Brasil, Canadá, Finlandia, Francia, Alemania, India, México, Holanda, Nueva Zelanda, Rusia, Sudáfrica, España y Estados Unidos (John Deere, s/f). En América del Sur, la compañía dispone de oficinas en Porto Alegre (Brasil) y Rosario (Argentina), siendo esta última una plaza estratégica para el sector agroindustrial nacional, desde donde se importan productos desde el año 1984.

Navarro S.A.

Se trata de una firma nacida en 1975 en la localidad de Coronel Pringles, ubicada a aproximadamente 130 km al noreste de Bahía Blanca, una zona con una marcada tradición rural y un rol protagónico en la producción agropecuaria. En el año 1985, la empresa pasa a constituirse como concesionario oficial John Deere, bajo la dirección de su fundador, Alfredo Navarro (Navarro, s/f).

A medida que la empresa fue creciendo, supo interpretar las necesidades del sector agropecuario, surgidas de la constante búsqueda de capitalización por parte de los productores, particularmente en el área de maquinaria agrícola, con el objetivo de alcanzar producciones más eficientes y con mayores rendimientos. Paralelamente, y con la intención de brindar respuestas a la elevada demanda de soporte técnico y mano de obra calificada en tareas de servicio, calibración y mantenimiento de maquinaria, la firma amplió su zona de influencia mediante la incorporación de nuevos puntos de venta, fortaleciendo así su vínculo con John Deere a través de la ampliación de su Área de Responsabilidad (ADR). Este proceso de crecimiento fue acompañado por una progresiva complejización de la estructura organizacional de la empresa, la cual actualmente se encuentra conformada por cinco gerencias, coordinadas por una gerencia general y un directorio. A partir del vínculo comercial entre Navarro S.A. y John Deere, se definieron los nuevos lineamientos estratégicos de la empresa, expresados en su misión, visión y valores.

Misión

La misión es ofrecer tecnologías, servicios y productos de calidad, enfocados en las expectativas de los clientes, produciendo un crecimiento sustentable, adaptándose a los cambios y liderando las transformaciones del mercado mediante el desarrollo del equipo, la mejora continua de los servicios y el compromiso con los accionistas y la comunidad.

Visión

La visión es la de ser líder en soluciones para el agro de la región, basados en los valores y la calidad de la gente, que les permita satisfacer las necesidades de los clientes y establecer relaciones sustentables en el tiempo.

Valores

- Profesionalismo
- Seriedad
- Actitud
- Comunicación

Siguiendo los nuevos lineamientos de John Deere, Navarro SA impulsa la transformación hacia una AP brindando los equipos y soluciones necesarias para lograrlo. En los últimos años desde la empresa, observaron que los clientes adquirirían máquinas como tractores, cosechadoras, sembradoras, pulverizadoras y picadoras, con todos los sistemas disponibles, pero su uso era minoritario tanto en usuarios como en tareas. Es así que nace “Soluciones Agronómicas” un área de postventa, como una forma de ofrecer servicios a cada cliente en el asesoramiento y recomendaciones en lo que respecta a siembra y fertilización variable, pulverización y cosecha, teniendo como eje central a la producción sustentable y eficientizando los insumos.

Pasantía laboral en Navarro S.A.

En el año 2021, Navarro S.A. y el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, suscribieron un convenio marco a partir del cual se implementó una serie de pasantías laborales destinadas a alumnos avanzados de la carrera de Ingeniería Agronómica. El presente trabajo corresponde a una de dichas pasantías y tiene como objetivo describir las tareas realizadas dentro del área de “Soluciones Agronómicas”.

A pesar de la amplia trayectoria de la empresa y de su fuerte vinculación con el sector agropecuario, Navarro S.A. no contaba hasta ese momento con profesionales específicos del área agronómica, como ingenieros agrónomos. En este contexto, el desafío de desarrollar el área de “Soluciones Agronómicas” desde sus inicios fue significativo, aunque de gran valor, ya que respondió a demandas reales de productores y usuarios vinculadas al uso eficiente de la maquinaria agrícola, la correcta toma y gestión de datos y la generación de prescripciones de siembra y/o fertilización variable.

Las denominadas “Soluciones Agronómicas” se apoyan en el uso integrado de dispositivos y plataformas digitales, aplicadas a distintas etapas del proceso productivo. En este trabajo se describen principalmente las actividades relacionadas con el muestreo de suelos mediante barreno neumático, la denominada “táctica de cosecha” y la “táctica de pulverización”, todas ellas consideradas herramientas clave dentro del enfoque de la AP. Bajo el lema de que “lo que no se mida no se puede mejorar” el área impulsa diariamente con sus clientes, instituciones, colegios, productores y en la zona el afán por tecnificar la producción logrando mejores rindes, menores costos y un menor impacto ambiental.

Según la FAO, la cosecha se define como: *“La separación de la planta madre de la porción vegetal de interés comercial, que puede incluir frutos como tomates, pimientos, manzanas y kiwis; raíces como remolacha y zanahoria; hojas como espinaca; bulbos, tubérculos, entre otros.”* Durante las primeras décadas del siglo XX, la cosecha mecanizada comenzó a

consolidarse como una práctica habitual, impulsada por los avances tecnológicos que permitieron reemplazar progresivamente la cosecha manual en grandes superficies. Posteriormente, durante la década de 1990, la industria de la maquinaria agrícola atravesó una nueva transformación vinculada al posicionamiento satelital, las redes de comunicación y la tecnología electrónica, sentando las bases del desarrollo actual de la AP.

En relación con la pulverización, esta se define como la aplicación controlada de productos fitosanitarios o fertilizantes líquidos sobre un cultivo o el suelo, mediante equipos diseñados para generar gotas de tamaño adecuado y distribuirlos de forma uniforme sobre el objetivo. Por su parte, la pulverización adquiere un rol central, ya que permite ajustar dosis, momento y lugar de aplicación, reduciendo pérdidas, minimizando impactos ambientales y mejorando la eficiencia en el uso de insumos. La “táctica de pulverización” se basa en el correcto manejo del equipo, la selección adecuada de boquillas, la regulación de presión y velocidad, y la interpretación de variables ambientales para lograr aplicaciones eficaces y seguras.

Por su parte, el muestreo de suelos constituye una herramienta fundamental para el planeamiento y conocimiento del lote, siendo uno de los pilares de la AP. A través de este se realiza el diagnóstico de la fertilidad, el relevamiento de la profundidad del horizonte petrocálcico -una de las principales limitantes productivas dentro del área de influencia del concesionario Navarro S.A.- y la evaluación de la capacidad de almacenamiento de agua y del desarrollo radicular. Estos parámetros son, por este motivo, los más utilizados para la construcción de mapas de ambientación.

En la zona semiárida del sudoeste bonaerense, la capacidad de retención de agua de los suelos, combinada con la variabilidad en las precipitaciones, condiciona la productividad de verdeos, pasturas y cultivos de cosecha. Esta capacidad está definida principalmente por la porosidad, función de la composición granulométrica y la estructura del suelo y por la presencia de un horizonte petrocálcico (“tosca”) que limita la exploración por las raíces. El efecto del horizonte petrocálcico sobre los rendimientos ha sido mencionado para la zona semiárida y, en menor medida, para la subhúmeda (Puricelli et al., 1997, Calviño y Sadras, 1999; Ross, 2012). Estudió la influencia del horizonte petrocálcico sobre cultivos del sudoeste bonaerense. Determinó que la profundidad del suelo resultó una variable de considerable importancia para analizar la variación espacial del rendimiento y encontró correlación entre profundidad efectiva y rendimiento en función de la densidad de muestreo, año y cultivo. Bragachini et al. (2010) observaron que la delimitación de ambientes sobre la base de la profundidad de la tosca permitió un mejor ajuste de la fertilización de cebada respecto del logrado a partir del uso de mapas de rendimiento-proteína. Dada la influencia de la variable

estudiada sobre la producción de cultivos, la determinación de áreas homogéneas por profundidad de suelos permite la aplicación de tratamientos agronómicos específicos (longitud de barbecho, densidad de siembra, nivel de fertilización), adecuados al potencial productivo de cada suelo. Esto representa una tecnología de procesos importante que optimiza el uso de insumos en un ambiente marginal de alto riesgo climático (Frolla et al., 2014)

Desde el punto de vista agronómico, la profundidad efectiva adquiere una importancia central porque condiciona directamente la capacidad de almacenamiento de agua útil, la disponibilidad de nutrientes y la estabilidad del cultivo frente a situaciones de estrés hídrico. En sistemas de secano, como los predominantes en gran parte de la Región Pampeana y en particular en el sudoeste bonaerense, el acceso de las raíces a mayores profundidades del perfil puede marcar diferencias significativas en el rendimiento de los cultivos, especialmente en años con precipitaciones deficitarias. En particular, las planchas de tosca constituyen una de las principales limitantes a la profundidad efectiva en amplias áreas de la provincia de Buenos Aires. Su presencia restringe severamente la exploración radicular y reduce el volumen de suelo disponible para el cultivo, afectando tanto la absorción de agua como la de nutrientes. De manera similar, la presencia de basamento cristalino próximo a la superficie, característica de áreas de piedemonte serrano, representa una limitación absoluta para el desarrollo radicular. Es por esto que muchos productores ven la necesidad de mapear la tosca de sus lotes y sobre eso construir una secuencia de cultivos y rotaciones acorde y en muchos casos también elaborar sobre eso prescripciones para siembra o fertilización por ambientes.

Asimismo, los pinches para la determinación de la resistencia a la penetración del perfil, es decir, el grado de compactación del suelo, constituyen una de las herramientas de mayor importancia productiva. En los últimos años, la compactación se ha convertido en un problema incipiente de creciente relevancia. Según AAPRESID, *“se trata de un fenómeno por el cual las partículas del suelo se aprietan entre sí, disminuyendo el espacio poroso y aumentando la densidad, lo que dificulta el crecimiento radicular y limita el acceso de las plantas al agua y a los nutrientes, además de afectar la actividad biológica del suelo y su fertilidad”*

La compactación del suelo mediante el paso repetido de tractores, pulverizadores, cosechadoras y máquinas sembradoras es también una de las principales causas de la reducción de la distribución de poros del suelo y, por lo tanto, afecta la producción agrícola (Soane y van Ouwerkerk, 1994). Es por eso que son numerosos los esfuerzos de técnicos e investigadores para tratar de atenuar en especial en la labor de cosecha que representa de

las mayores amenazas por la utilización de grandes cosechadoras y carros tolva. Las soluciones pueden ser numerosas, desde las de bajo costos como, por ejemplo, el correcto manejo de lastres y de la presión de inflado de los neumáticos hasta las costosas como son las labores de descompactado profundo del suelo y el uso de neumáticos de construcción radial (Hamza y Anderson, 2005; Batey, 2009).

Tampoco es menor la influencia que ejerce sobre la condición fisiológica y rinde de los cultivos la fertilización y el manejo nutricional, el análisis estacional y sistemático antes de la siembra de cultivos de cosecha o implantación de pasturas para macronutrientes y en ciertos casos algunos micronutrientes cobran un valor importante tanto para el crecimiento como para el desarrollo y consecuentemente el rinde del cultivo (Figura 4).

Clasificación de los nutrientes principales según la cantidad que requieren las plantas

• Macronutrientes	• Mesonutrientes	• Micronutrientes
Nitrógeno	Azufre	Zinc
Fósforo	Calcio	Boro
Potasio	Magnesio	Hierro
		Manganeso
		Cobre
		Molibdeno
		Cloro

Figura 4. Clasificación de los nutrientes esenciales (FAO, 2017).

En este sentido, se destaca que, en el actual marco de la producción agropecuaria, debido a la tecnificación, al mayor uso de insumos y a la mejora genética, entre otras cosas, es notable el incremento de los rendimientos de los cultivos en los lotes tradicionalmente agrícolas, como también en aquellos dedicados a la ganadería (carne y leche). Aunque en general los suelos productivos de la provincia, en su gran mayoría, son de buena fertilidad física, química y biológica, el mal manejo productivo y el incremento de los rendimientos sin la reposición adecuada de nutrientes llevará a que los mismos vean disminuidas estas propiedades. Pensando en la sostenibilidad en el tiempo de los sistemas de producción, como la necesidad económica de sostener rindes elevados, se hace necesaria la implementación de prácticas básicas como la siembra directa, la rotación de cultivos y la fertilización equilibrada. Una manera de prevenir esta situación es la utilización de una herramienta muy útil, que consiste en el análisis de suelo. Este permite, a través de la toma de muestras y su posterior análisis químico, determinar el nivel de disponibilidad de nutrientes en lotes en producción y, a partir del conocimiento de las necesidades de los

cultivos, realizar recomendaciones de fertilización para lograr mejores rendimientos; y, en el caso de campos nuevos, determinar en primera instancia los distintos tipos de suelos presentes en un establecimiento y conocer su aptitud productiva (Salinas, 2006).

En este contexto, la falta de reposición adecuada de nutrientes luego de años de agricultura ha conducido, en numerosas regiones del país a deficiencias significativas de macronutrientes, particularmente donde la agricultura es practicada desde mediados del siglo pasado de forma extensiva, así como a la aparición de respuestas productivas a micronutrientes que durante largos períodos no fueron considerados en el manejo nutricional de los cultivos. Es claro sobre las figuras como los suelos agrícolas de la región pampeana se han ido agotando, incluso en parámetros que se consideraban más estables como el fósforo y la materia orgánica, es por esto por lo que cada vez son más los productores que analizan y fertilizan acorde para construir fertilidad o reponer lo extraído por los cultivos (Figura 5).

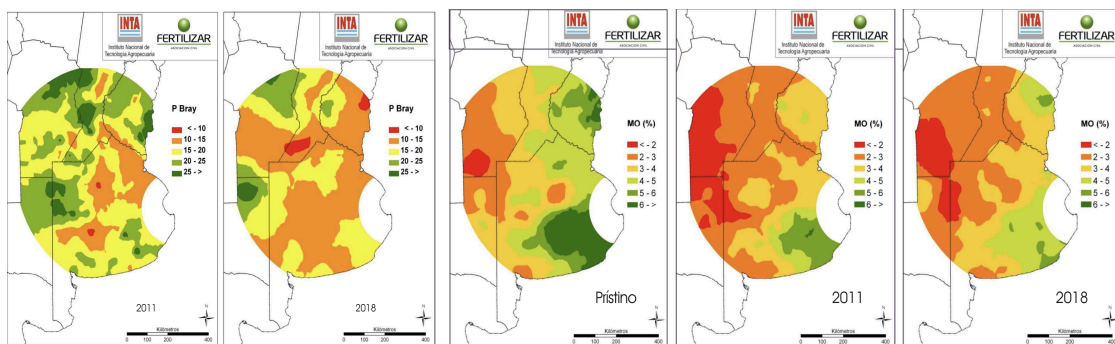


Figura 5. Evolución de la concentración de fósforo extraíble y tenor de materia orgánica en la región pampeana (tomado de Sainz Rozas et al. 2019).

Dada la variación estacional en la disponibilidad de nutrientes en el suelo, para estimar con fines de diagnóstico la evolución del contenido de los nutrientes disponibles a través de los años, es importante mantener relativamente fijos el momento del año y la forma de muestreo (profundidad y área de muestreo). La profundidad de muestreo varía según el nutriente, por su movilidad y la distribución en el perfil de suelo. Así los muestreos superficiales (0 a 20 cm) y subsuperficiales (20 a 60 cm o mayor profundidad) son recomendables para evaluar la disponibilidad de nitrógeno (N), azufre (S) y boro (B).

Dentro de los parámetros de fertilidad química destacan a su vez la materia orgánica del suelo (MOS), conformada por residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición. La MOS está compuesta por un 58% de carbono (C) y cantidades variables de hidrógeno, oxígeno, S, fósforo (P) y N. El tenor de MOS es muy importante

porque se relaciona con la capacidad del suelo de retener y brindar los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas. También, mejora la estructura del suelo, al ayudar a la formación de agregados que permiten la existencia de poros donde se alojan el agua y el aire y donde pueden crecer las raíces y los microorganismos. Además, es fuente de energía y nutrientes para los organismos y microorganismos que viven en el suelo. Estos cumplen funciones fundamentales en el proceso por el cual el material orgánico (restos vegetales y animales) se transforma en materia orgánica estable, que es la verdadera fuente de nutrientes para las plantas y otros organismos (Fertilizar, 2025).

De manera igualmente importante, se encuentra la reacción del suelo, expresadas a través del pH, siendo la causa y la consecuencia de numerosos procesos del suelo, y pueden limitar el crecimiento de algunas plantas. La mayoría de las plantas se desarrollan mejor en un rango de pH de entre 6,0 y 7,5. Algunas pueden adaptarse a suelos un poco más ácidos (menor pH) o más alcalinos (mayor pH), con mermas si el pH no está dentro de los valores óptimos.

Por estos motivos, el área de Soluciones Agronómicas ofrece este tipo de muestreos, análisis y procesamientos de datos, tanto para propiedades físicas y químicas del suelo, regulaciones de maquinaria agrícola, como también análisis de campañas de cosechas como una serie de herramientas de gran utilidad para la detección de posibles problemas de compactación, deficiencias nutricionales de cultivos, alteración de parámetros edáficos como MOS, sodicidad, salinidad o pH, evaluación agronómica de rotaciones, y el análisis de impactos del tránsito de maquinaria o del pastoreo, aportando información clave para la toma de decisiones agronómicas y respondiendo a las necesidades de los productores.

OBJETIVOS

Dentro de los objetivos personales, se destaca el involucrarme con la realidad del sector agropecuario, trabajando codo a codo con un equipo de ingenieros y brindando servicio directo a productores. Asimismo, uno de los objetivos fue desarrollarme dentro de un equipo de trabajo, expandiendo mis habilidades técnicas y blandas a lo largo de la pasantía.

Otro aspecto central fue afianzar los contenidos prácticos adquiridos durante la carrera, mediante su aplicación en situaciones reales de campo y de oficina. Finalmente, esta experiencia representó el inicio del recorrido como joven profesional del sector, aprendiendo tanto de otros profesionales como de mis propios errores, con el objetivo de seguir mejorando y convertirme en un futuro profesional más completo que al comienzo de la pasantía. [OBJ]

TAREAS REALIZADAS

Análisis de suelo

Entre las principales tareas realizadas se incluyeron actividades vinculadas al muestreo de suelos para la determinación de parámetros físicos y químicos. En el caso de los análisis químicos, los parámetros evaluados dependían de las necesidades del cliente, quien era previamente guiado y asesorado por el equipo de ingenieros de la empresa. El laboratorio utilizado para el análisis de las muestras se definía según la preferencia del productor o por recomendación de los ingenieros de Navarro S.A. A partir de estos análisis, se procedía a la elaboración de mapas de ambientación y archivos en formato *shape*, con el objetivo de posibilitar la realización de prescripciones de siembra y/o fertilización variable.

El trabajo comenzaba en la oficina con la delimitación del perímetro del lote y la carga de dicha información en la aplicación Pique® (Figura 6), utilizada para la operación del barreno calador neumático Tornomar® CH200 (Figura 7), un barreno calador y penetrómetro neumático. Una vez cargado el lote con su respectivo nombre, establecimiento y productor, se realizaba un análisis del índice NDVI mediante el software Auravant® , con el fin de interiorizarse en el historial del lote, los cultivos antecesores o el cultivo actual y su comportamiento a lo largo del tiempo. Dentro de la misma plataforma se cargaba el lote y se generaba una grilla de muestreo, definiendo la cantidad de puntos solicitados por el productor, siendo habitual el uso de una grilla de un punto por hectárea (Figura 8). Esta herramienta, que puede utilizarse sin conexión, servía para guiar la camioneta dentro del lote y asegurar una distribución homogénea y representativa de los puntos de muestreo.



Figura 6. Límites de los lotes a muestrear cargados en la aplicación Pique.



Figura 7. Detalle del barreno neumático Tornomar CH200 dispuesto sobre camioneta.

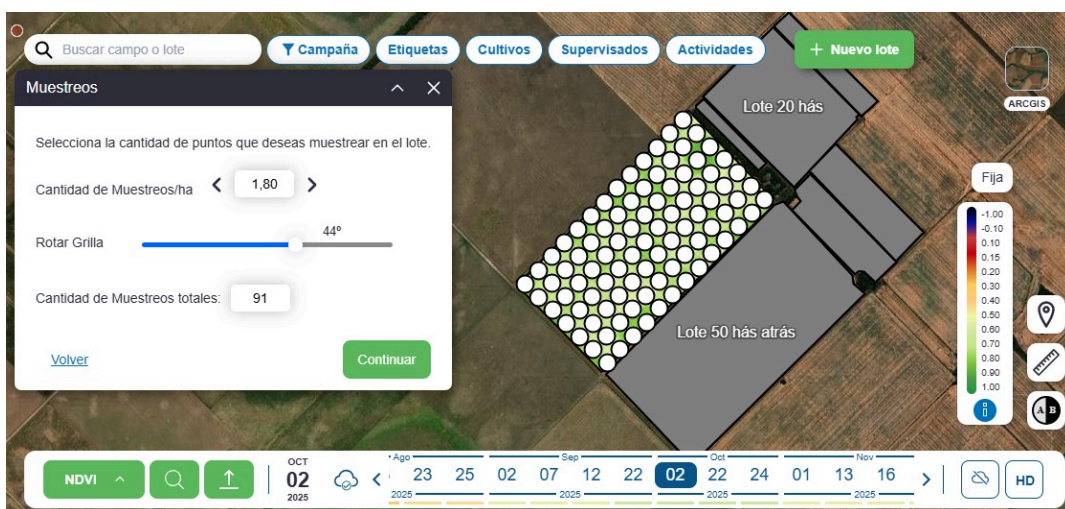


Figura 8. Grilla de muestreo confeccionada en Auravant.

En los casos en que se consideraba necesario, se buscaban antecedentes de trabajos previos realizados en el lote, tales como siembra, pulverización y/o cosecha, a través de John Deere Operations Center. Esto permitía profundizar el conocimiento del lote y, de ser necesario, realizar observaciones dirigidas hacia posibles problemas de fertilidad, compactación y/o presencia de malezas dificultosas, entre otros.

Una vez finalizadas las tareas de oficina, se procedía al trabajo de campo inicialmente se realizaba una inspección del equipo constatando que las piezas funcionan correctamente y fundamentalmente que el cono de la lanza de penetrómetro no se encuentre deformado, fenómeno que podía ocurrir debido al impacto contra la plancha de tosca, luego el personal

del establecimiento emitía recomendaciones para determinar el mejor sitio para arrancar, los lugares más problemáticos y precauciones generales en el tránsito dentro del establecimiento.

En el caso de los muestreos para RP, se esperaba a que el suelo presentara un contenido de humedad cercano a la capacidad de campo, correspondiente al punto en el cual el agua del suelo se encuentra retenida a una tensión de menos 3 bares, con el objetivo de obtener resultados útiles y comparables con testigos y otros lotes. Los muestreos de RP y profundidad efectiva se realizaban mediante una lanza de punta cónica, capaz de penetrar hasta 80 cm de profundidad. El equipo cuenta con una celda de presión que mide y registra, a través de la aplicación, los valores de presión expresados en MPa, registrando un dato por cada centímetro recorrido. El barreno se encuentra programado para detener el calado al alcanzar los 14 MPa, presión a la cual resulta imposible el crecimiento normal de las raíces, considerando que el límite crítico para el desarrollo radicular se encuentra cercano a los 3 MPa. Si bien el equipo no detecta de manera directa la presencia o ausencia de tosca, de forma indirecta, al registrarse presiones elevadas que provocan el corte del calado dentro de los 80 cm de recorrido, se asume posteriormente, durante el procesamiento de los datos, la presencia de un horizonte petrocálcico de discontinuidad temporal.

Cuando el muestreo correspondía a fertilidad, se definían previamente los parámetros a analizar. De manera habitual, se realizaban dos piques por punto de muestreo: 0-20 cm y 20- 60 cm, diferenciación necesaria para evaluar la presencia de distintos nutrientes, entre ellos la disponibilidad de N, cuyo análisis correcto requiere un muestreo hasta 0,6 m de profundidad, debido a su movilidad y que se asume que el 90% de las plantas disponen su sistema radical hasta esta profundidad. (Figura 9)

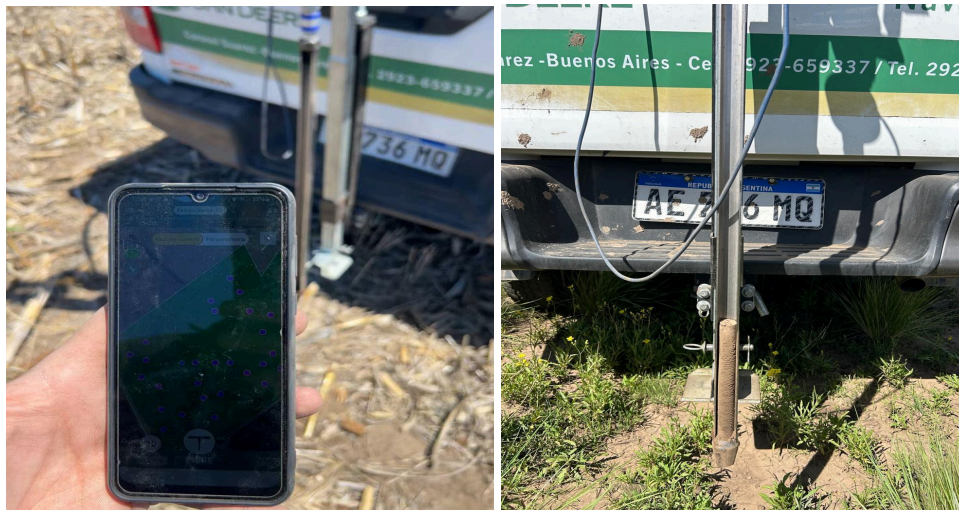


Figura 9. Imagen de la aplicación “Pique” y el barreno en campo, con la muestra simple de suelo de 0-20 cm.

Las muestras obtenidas eran rotuladas en bolsas, identificando el número del sitio de muestreo, la profundidad y el lote de procedencia (Figura 10). Posteriormente, eran

almacenadas en condiciones refrigeradas, utilizando conservadoras con elementos congelantes, con el objetivo de que arribaran al laboratorio con el menor disturbio posible de sus condiciones originales.

Los parámetros analizados en laboratorio eran consensuados entre el productor y el equipo técnico, el cual, de manera habitual, recomendaba la realización de un análisis de rutina completo, que incluye Nitrógeno inorgánico tanto de amonio como de nitratos, P extraíble, pH y materia orgánica. Previo a la realización de cada muestreo se verificaba que la extracción de las muestras no coincidiera con la línea de siembra, ya sea correspondiente al cultivo antecesor o al cultivo en pie, en aquellos casos en que el muestreo se efectuaba sobre un lote ya sembrado. Asimismo, se corroboraba que los puntos de muestreo no coincidieran con deyecciones animales ni con cuevas, tomando todos los recaudos necesarios para mejorar la calidad del muestreo.



Figura 10. Muestras compuestas recolectadas con barreno para fertilidad

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio el equipo técnico de Navarro S.A. , junto con predicciones de rinde obtenidas desde datos históricos y/o por comentarios o registros del productor se procedía a realizar unas recomendaciones de manejo, de fertilización en el caso de que fuera necesario (Tabla 2).

Tabla 2. Ejemplo de informe sobre los datos de laboratorio.

MUESTRA	¹ N-NO ₃ (ppm)	¹ N-NO ₃ (kg/ha)	² MO (%)	N disponible en el perfil (0-20 + 20-60) (kg/ha)	³ P Asim. (ppm)	pH	Requerimiento de N del cultivo (kg/ton)	Rinde objetivo (ton/ha)	Necesidad total de N del cultivo (kg)	Necesidad de N a aplicar con fertilizante (kg)*	Aplicación de Urea p/ cubrir requerimiento de N (kg/ha)
Lote Silos 0.0-0.2 m	17,47	45,4	2,76	-	14,1	6,64	-	-	-	-	-
Lote Silos 0.2-0.6 m	15,81	82,2	-	127,6	-	-	22	7	154	26	57
Lote Riego 0.0-0.2 m	16,07	41,8	3,85	-	31,1	6,54	-	-	-	-	-
Lote Riego 0.2-0.6 m	17,17	89,3	-	131,1	-	-	40	2,2	88	0	0
Lote Isla 0.0-0.2 m	17,74	46,1	4,00	-	46,8	6,85	-	-	-	-	-
Lote Isla 0.2-0.6 m	18,44	95,9	-	142,0	-	-	22	8	176	34	74

En el caso de los análisis de compactación y profundidad efectiva, el trabajo de confección de mapas se retomaba en la oficina. A partir de la aplicación *Piqué*, se descargaba un

archivo Excel® en formato crudo, que contenía la información de presión (MPa) registrado centímetro a centímetro durante el calado. Estos datos eran luego volcados de manera manual a un Excel® base utilizado por el área, cuyo objetivo era ordenar la información en cuatro intervalos de profundidad: 0–15 cm, 15–30 cm, 30–45 cm y 45–80 cm. Esta reorganización no tenía otro fin que facilitar la visualización e interpretación de los datos obtenidos.

A partir de esta información se elaboraron los mapas de compactación, generando un mapa por cada perfil de profundidad previamente definido (Figura 11). En cada punto de muestreo se indicaba el número de piqué y el valor máximo de presión (MPa) registrado. Para cada uno de los mapas se utilizaba una escala de cuatro colores, que iba desde verde intenso hasta rojo, representando los siguientes rangos de presión: menores a 1 MPa, entre 1 y 2 MPa, entre 2 y 4 MPa y mayores a 4 MPa, respectivamente. Estos mapas resultaban de gran utilidad cuando se analizaban de forma comparativa, ya que permitían identificar zonas con distintos niveles de compactación y evaluar si estas coincidían con posibles problemas de manejo, como la presencia de pie de arado, pie de siembra o, en algunos casos, compactación asociada al pisoteo. Una vez realizado el pique, la aplicación confecciona un gráfico donde se podía ver la presión censada en cada centímetro del perfil de suelo, donde contando con información previa del lote, como cultivos y/o historial de pastoreo se podía diagnosticar posibles zonas compactadas y recomendar soluciones. (Figura 12)

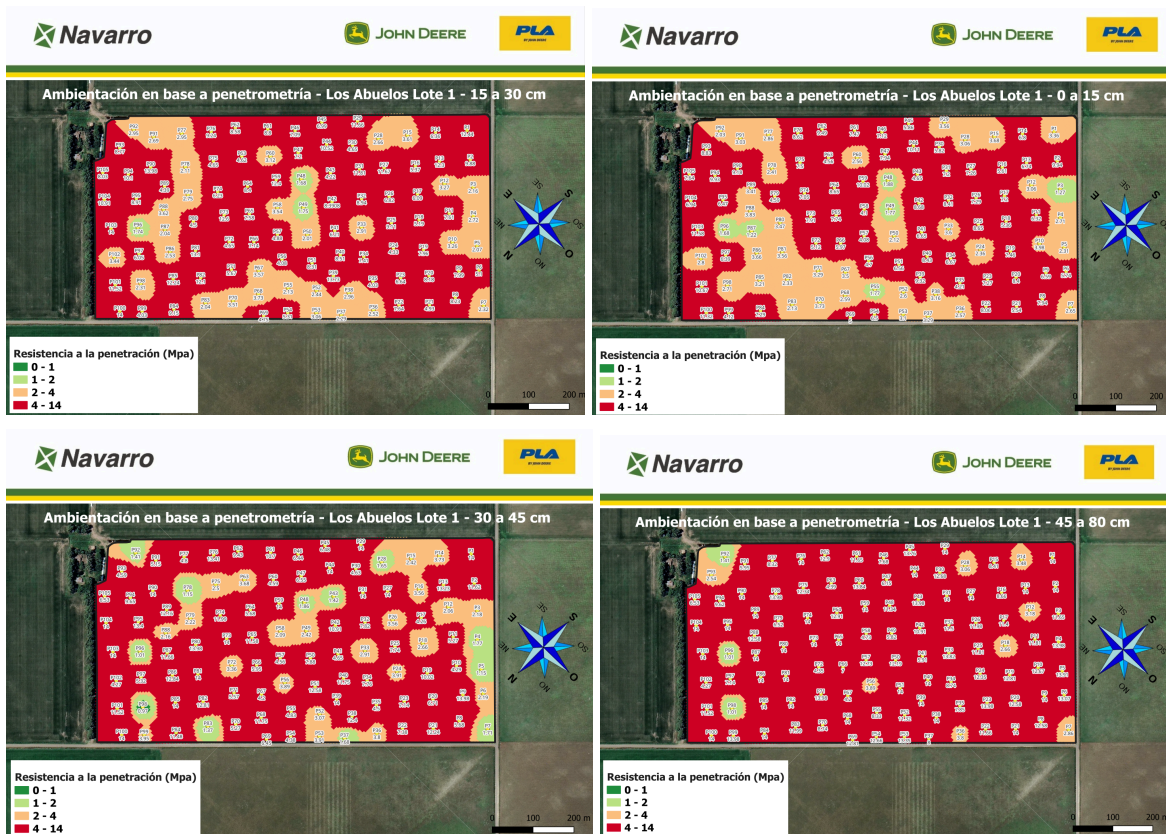


Figura 11. Mapa ambientación de resistencia a la penetración



Figura 12. Gráfico de presión (Mpa) medida por la celda de presión al profundizar en el perfil. Lote de pastoreo animal.

El procesamiento de la información para la elaboración de los mapas de profundidad efectiva presentaba algunas diferencias con respecto al utilizado para los mapas de compactación. En este caso, para cada pinchazo se identificaba la profundidad a la cual el barreno interrumpía el calado, en aquellos sitios donde efectivamente se producía el corte.

A partir de esta información se elaboraba un único mapa, en el que se detallaba el número de sitio de muestreo y la profundidad alcanzada en cada punto.

Una vez realizado el muestreo en el campo, con el barreno calador los datos eran llevados mediante un excel® (csv) a la aplicación Qgis para el procesamiento de los datos, donde se realizaban las ambientaciones, interpolaciones y archivos shape, los mapas ambientados se presentaban como mapas de gradiente de color hasta los 80 cm o donde haya cortado el calado neumático a los 12 Mpa, donde pasaba de rojo para las zonas someras y se tornaba verde en medida que se profundizaba el perfil.

Dichas ambientaciones al compararlos luego con los mapas de rendimiento obtenidos de las cosechadoras mostraban una gran correlación entre la variable rendimiento y profundidad efectiva, evidenciando mayores rendimientos donde la profundidad aumenta impulsado mayormente por la capacidad de exploración radicular y soportar de mejor forma los periodos de sequía, que son de especial importancia para la zona del sudoeste Bonaerense.

En los sitios donde el barreno no superaba el límite de presión preestablecido, se asignaba una profundidad igual o mayor a 80 cm, correspondiente a la máxima profundidad de trabajo del equipo. Los mapas se presentaban utilizando un gradiente de colores, organizado en nueve clases, que representaban intervalos de 10 cm de profundidad, indicando el nivel al cual se encontraba la impedancia (Figura 13).



Figura 13. Mapa de ambientación según profundidad efectiva hasta 80 cm

Para la elaboración de los mapas descritos anteriormente se utilizaba un software SIG, específicamente QGIS. En primer lugar, se cargaban en el programa los archivos Excel® previamente curados, exportados en formato CSV. Una vez incorporados al sistema, se procedía a cargar el perímetro del lote junto con la imagen satelital del terreno, procurando que toda la información se encontrara bajo la misma proyección y sistema de referencia.

Posteriormente, se ejecutaba la interpolación IDW, y el resultado obtenido se convertía nuevamente a formato ráster para luego vectorizarlo en polígonos, generando así el mapa final. En una etapa posterior se realizaban los ajustes estéticos, incluyendo la definición de colores, escalas y puntos de muestreo, tal como fue descrito previamente (Figura 14).

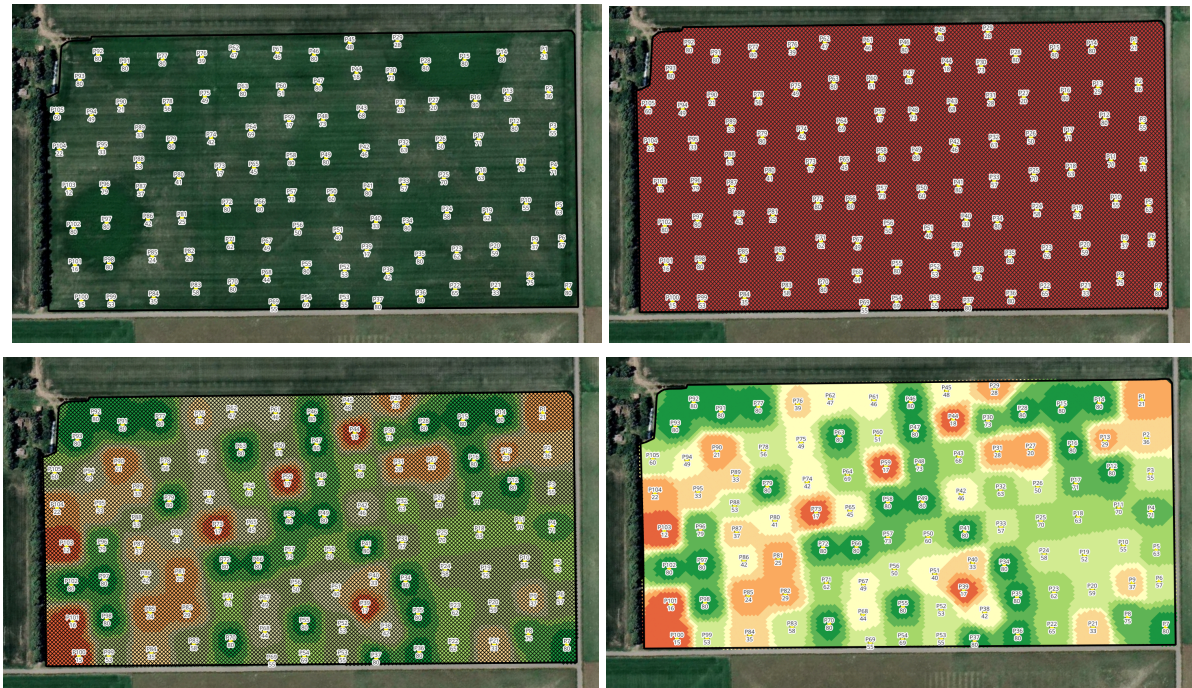


Figura 14. Evolución de los datos mediante el procesamiento en Qgis

Una vez finalizados, los mapas eran contrastados con los datos crudos y revisados por el equipo técnico de Navarro S.A. Finalmente, eran exportados y almacenados en la carpeta correspondiente, la cual era entregada al cliente junto con los archivos *shape* generados a partir del mismo trabajo de muestreo.

En los casos en que los ingenieros de Navarro SA lo consideraban pertinente, luego del muestreo se realizaban recomendaciones y observaciones a partir de lo relevado durante el trabajo de campo. Este proceso, además, generaba un intercambio técnico de gran valor, ya que permitía conocer en mayor profundidad las prácticas de manejo implementadas en el establecimiento.

Durante el transcurso de la pasantía se realizaron muestreos diversos sobre barbechos o cultivos en pie, tanto para compactación, profundidad efectiva como fertilidad, sumando un total de 650 hectáreas muestreadas y procesadas para dar mapas de ambientación y archivos *shape*.

Atención remota

El área de Soluciones Agronómicas ofrecía, dentro de sus servicios muestreo de suelo para parámetros físicos o químicos, el seguimiento de lotes y cultivos y el nivel de atención remota de las maquinarias. Para el seguimiento de los lotes se utiliza la aplicación Auravant®, mediante la elección de los índices existentes, se realizaban ambientación y seguimientos de siembra, implantación, macollaje y madurez fisiológica, además de evaluar el impacto de eventos climáticos como pedradas o heladas que afectarán dentro del desarrollo del cultivo. (Figura 15). Eran realizados además informes de cosecha donde a los propietarios de maquinaria o establecimientos se le detallaba cultivo cosechado, rendimiento, humedad y parámetros diversos de eficiencia de la maquinaria y del uso de combustible.



Figura 15. Imágenes con índice NDVI para evaluación de helada ocurrida el 28/10/25 sobre un lote de trigo.

La atención remota de maquinaria se realizaba a través de la plataforma John Deere Operations Center, utilizada por los especialistas en maquinaria de la empresa. Esta aplicación permite visualizar, tanto en tiempo real como mediante registros históricos, las maquinarias activas correspondientes a Navarro SA, mostrando información detallada sobre velocidades de trabajo y de traslado, posicionamiento, niveles de combustible, estado y detalles de mantenimiento, visitas al taller y labores realizadas. Asimismo, la plataforma posibilita el seguimiento de diversas estadísticas de eficiencia, tales como el uso de combustible, el tiempo operativo y la altimetría. En el caso específico de las cosechadoras, se dispone además de información vinculada a humedad de grano y rendimiento.

Dentro de las labores diarias desempeñadas se incluía el seguimiento continuo de las maquinarias, el relevamiento de alertas del sistema y la comunicación con el equipo técnico mecánico ante la detección de posibles inconvenientes. De manera complementaria, se confeccionó para todas las maquinarias activas un plan de mantenimiento específico,

ajustado según el tipo de herramienta, su nivel de uso, antigüedad y tarea realizada. Dichos planes generaban alertas de mantenimiento visibles tanto para el propietario como para el concesionario, permitiendo programar visitas al taller, prevenir fallas y minimizar el desgaste prematuro de los equipos.

Solución de pulverización:

En el caso de las pulverizadoras, se realizaba un trabajo similar al llevado a cabo con tractores y cosechadoras, mediante el seguimiento a través de la plataforma John Deere Operations Center. Además, se asesoraba tanto a los aplicadores como a los propietarios de las máquinas sobre el uso del Kit SIA (sistema integrado de aplicación), un conjunto de instrumentos y software de John Deere especializado en la medición de la calidad de las aplicaciones.

El 5 de abril de 2025 se realizó un ensayo en un campo ubicado en las cercanías de la localidad de Coronel Suárez, más específicamente en la zona de Piñeiro, donde se evaluó el desempeño de una pulverizadora autopropulsada PLA, equipada con un botalón de fibra de carbono, durante una aplicación de herbicida glifosato. La intervención tuvo como objetivo el control de malezas de hoja fina, con el fin de minimizar inconvenientes durante la cosecha y reducir el traspaso de humedad al cultivo de soja, que se encontraba implantado en el lote.

Mediante el uso de herramientas de Agricultura de Precisión, fue posible analizar la calidad de la aplicación, la estrategia utilizada y su adecuación a las condiciones de trabajo. A través del tarjeteo sobre las pasadas, se corroboró el tipo y la cantidad de impactos, permitiendo evaluar el desempeño de la máquina y la eficiencia de la labor realizada.

Es una herramienta pensada para dar mayor soporte. Esta aplicación permite acceder fácilmente al servicio técnico, configurar la máquina a medida con más de 130 opciones y acceder al monitoreo en tiempo real e histórico de la aplicación, con alertas que permitirán corregir las pulverizaciones en el momento, posibilitando la visualización de cada trabajo realizado de cada uno de sus equipos PLA, este sistema cuenta con un anemómetro y un termómetro, que en conjunto con los datos operativos cargados por el aplicador como tipo de pastilla, presión de trabajo y producto utilizado permite generar mapas de calidad de aplicación, en los que se evalúa el desempeño de la pulverización. Esta herramienta se utilizaba tanto para controlar el impacto ambiental y económico de las aplicaciones, en particular en relación con posibles daños a cultivos aledaños, como también, en algunos casos, para esclarecer conflictos con vecinos o instancias judiciales.

En los últimos años, la incorporación del Kit SIA, junto con avances tecnológicos como el corte por sección o corte pico a pico, el uso de picos PWM, la utilización de drones para el mapeo previo y los sistemas de control localizado de malezas, ha impulsado fuertemente la Agricultura de Precisión aplicada a la pulverización, un segmento en el que estos desarrollos resultan especialmente necesarios (Figura 16) Esta evolución responde, además, al creciente interés de los consumidores por la trazabilidad y la producción ambientalmente responsable.



Figura 16. Sección superpuesta con corte automático pico a pico.

En este contexto, durante la pasantía se desarrolló un breve ensayo de aplicación de herbicidas sobre un lote de soja cercano a la localidad de Coronel Suárez, realizado el 4 de abril de 2025. En dicho ensayo se tarjeteó la aplicación en diferentes posiciones de la pasada y a alturas contrastantes dentro de la canopia, incluyendo también el tarjeteo fuera de la pasada, con el objetivo de evaluar la deriva (Figura 17).



Figura 17. Tarjeteo con hidrosensibles realizado para el ensayo de pulverización

Asimismo, de manera intencional, se solaparon pasadas para evaluar el correcto funcionamiento del sistema de corte automático, el cual, al detectar superposiciones, cierra los picos en las zonas afectadas, evitando la sobredosificación en dichos sectores.

Las denominadas *tácticas de marketing* consisten en ensayos que son interpretados, trabajados y analizados a través de la plataforma Agronomy Analyzer. Estas tácticas se basan en pruebas realizadas con diferentes maquinarias John Deere en distintas tareas productivas, con el objetivo de evaluar su desempeño y analizar cómo la incorporación de tecnología mejora la eficiencia y calidad de las labores.

Las pasadas analizadas fueron a 15 y 19 Km/h, ensayando en cada caso pastillas cono hueco y abanico plano, donde se tarjeteo en diferentes posiciones para evaluar impactos y también deriva, las tarjetas fueron procesadas con Cuthill® software especializado en identificar impactos y medir caudal erogado a su vez del diámetro volumétrico medio. (Figura 18).

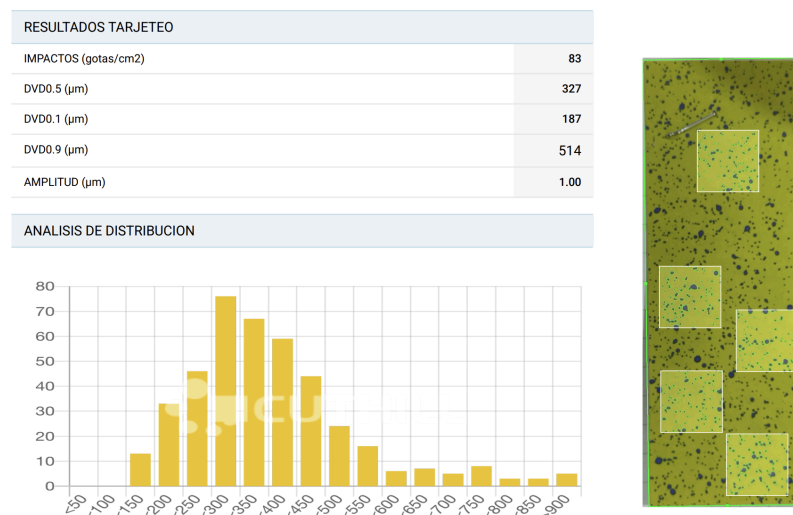


Figura 18. Análisis de las tarjetas hidrosensibles realizado con Cuthill® para la pastilla cono hueco a 15 km/h.

Solución de cosecha

Durante el transcurso de la pasantía se llevó a cabo una táctica de cosecha en lotes de cebada ubicados en cercanías de la localidad de Laprida. El proceso de realización del ensayo comenzó con la identificación y contacto del productor, y del contratista de cosecha en aquellos casos en que fue necesario. Posteriormente, se avanzó con el trabajo de oficina, donde, mediante la aplicación interna de John Deere denominada Agronomy Analyzer se construyó el diseño experimental dicha aplicación es una herramienta que permite hacer los estudios y comparaciones necesarias para evaluar los resultados de una prueba, siguiendo un protocolo, y sustrayendo información directamente desde Operation

Center, esta aplicación logra identificar el lote, su contorno, medidas, trabajos y tratamientos. Dando todo tipo de información que recolecto la máquina mientras desempeñaba su labor y también deja espacio para la carga de datos de forma manual, como es el caso de las pérdidas, de cabezal y cola y el análisis del grano.

Se planteó el ensayo cumpliendo con los estándares de calidad establecidos por la compañía. Estos lineamientos tienen como finalidad garantizar la fidelidad de la información obtenida y facilitar su comparación con ensayos realizados en otros lotes o campañas. Una vez definido el ensayo, se procedió a la selección del lote, el cual fue cargado en las distintas plataformas digitales disponibles para analizar su historial productivo y el manejo realizado en los últimos años.

El lote elegido para el ensayo pertenece al establecimiento “23 de Abril – La María Rosa”, ubicado en las proximidades de la localidad de Laprida, más precisamente en la zona comprendida entre Laprida y Benito Juárez. El cual contaba con un cultivo de cebada de la variedad andrea que fue trillado el 27 de diciembre de 2024.

Para el ensayo fue utilizada una Cosechadora John Deere S780, con 480 CV de potencia nominal y una capacidad de tolva de 14.700 litros, equipada con plataforma Draper modelo 745 FD de 45 pies de ancho de labor, la cual cuenta con diversas ayudas tecnológicas y sistemas de control operables desde el interior de la cabina (Figura 19).



Figura 19. Cosechadora y carros utilizados para el ensayo.

El lote tenía como antecesor un cultivo de soja y estaba planeada también a una soja de segunda que fue sembrada tras la pasada de la cosechadora el mismo 27 de diciembre, el manejo que desde entonces había tenido tanto en el barbecho y preparación del lote como la siembra y las tareas realizadas después como aplicación de herbicidas e insecticidas, fertilización y cosecha (Tabla 3).

Tabla 3. Cuadro Detalle del manejo realizado para el lote utilizado en la solución de cosecha

Barbecho			En cultivo		
Fehca	PRODUCTO / LABOR	TIPO	Fehca	PRODUCTO / LABOR	TIPO
5-jun-24	Pulverizacion	LABRANZA	1-jul-24	ANDREIA	SIEMBRA
5-jun-24	sniper dry	HERBICIDA	1-jul-24	SISTIVA	INSECTICIDA
5-jun-24	24D DEDALO ELITE	HERBICIDA	1-jul-24	PMA	FERTILIZANTE
5-jun-24	SULFATO DE AMONIO (Liquido)	FERTILIZANTE	4-oct-24	Pulverizacion	LABRANZA
5-jun-24	CLETODIM	HERBICIDA	4-oct-24	24D RAINBOW 89	HERBICIDA
5-jun-24	Flumioxazin JOYA	HERBICIDA	4-oct-24	DICAMBA KAMBA	HERBICIDA
5-jun-24	RIZOSPRAY INTEGRUM	HERBICIDA	4-oct-24	METSULFURON	HERBICIDA
30-jul-24	Pulverizacion	LABRANZA	4-oct-24	SHARK	HERBICIDA
30-jul-24	SULFATO DE AMONIO (solido)	FERTILIZANTE	1-ago-24	Fertilizacion neumatica	LABRANZA
30-jul-24	PARAQUAT	HERBICIDA	1-ago-24	Urea	FERTILIZANTE
30-jul-24	FLUROCLORIDONA	HERBICIDA	4-oct-24	Fertilizacion neumatica	LABRANZA
1-jul-24	SFD	LABRANZA	4-oct-24	Urea	FERTILIZANTE
			4-dic-24	Pulverizacion	LABRANZA
			4-dic-24	Engeo	INSECTICIDA
			4-dic-24	CRIPTON XPRO	INSECTICIDA
			4-dic-24	METILADO SILICONADO ARN EE	HERBICIDA
			27-dic-24	Cosecha	COSECHA

Antes del trabajo a campo propiamente dicho se realizó un estudio del lote, sobre su manejo, antecesor fechas de siembras y trabajos realizados y una ambientación del lote utilizado en el ensayo con la aplicación Auravant® superponiendo imágenes de 7 fechas de los índices NDVI y GNDWI dependiendo de cuando se mostraran mayores diferencias, dicho mapa ambientado sirvió como una guía y un objeto de comparación con los mapas de rendimiento de cosecha. (Figura 20) (Figura 21).



Figura 20. Perímetro del lote usado para el ensayo de cosecha. Ambientación del lote del ensayo.

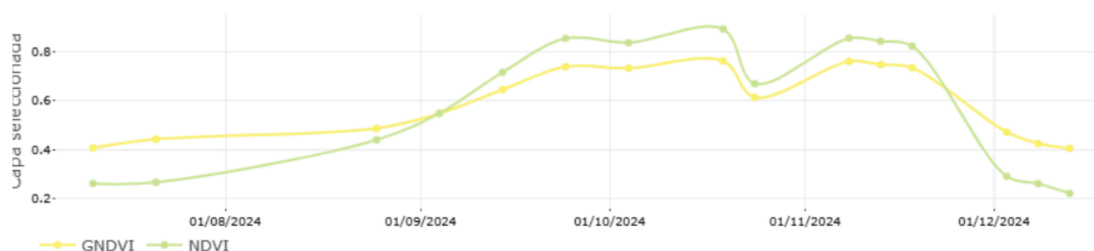


Figura 21. Diferencia entre los índices NDVI y GNDVI en el ciclo del cultivo

El ensayo se realizó en un lote de aproximadamente 37 hectáreas, de dimensiones cercanas a 1200 metros de largo por 300 metros de ancho, implantado con un cultivo de cebada, variedad Andreia. La trilla se llevó a cabo utilizando una cosechadora John Deere S780 modelo 2024, con alrededor de 900 horas de motor, equipada con un cabezal Draper de 45 pies que cumplía su primera campaña.

Con el objetivo de estandarizar el ensayo, se seleccionó un lote de características homogéneas, el cual fue dividido en dos sectores, correspondientes a los distintos tratamientos. En cada uno de ellos se realizaron más de seis pasadas, con el fin de obtener un número de observaciones representativo para el análisis posterior.

Para el ensayo se buscó evaluar el desempeño de la cosechadora con y sin la utilización de un paquete de ayudas original de John Deere, denominado Combine Advisor. Este sistema constituye una solución integral de autorregulación y asistencia a la conducción, que facilita el trabajo del operario, mejora la eficiencia del proceso de cosecha y contribuye a la minimización de pérdidas, para la automatización de las correcciones y mantenimiento de la calidad de cosecha requerida utiliza diversas cámaras ubicadas en la trilla y noria de retrilla, lo que le permite al sistema identificar errores como materia extraña, granos partidos o dañados (Figura 22).

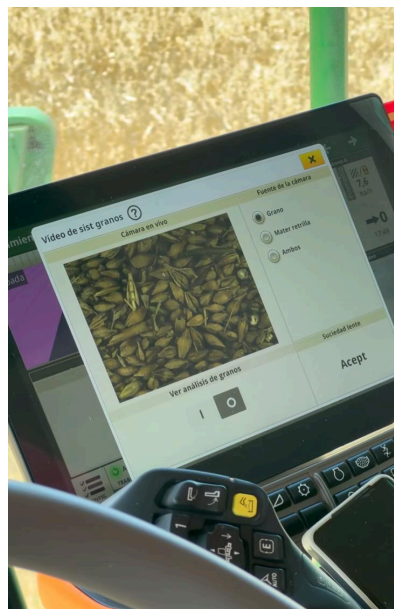


Figura 22. Visualización de la cámara dentro de la cabina.

El paquete tecnológico que incluye Combine Advisor, incluye diferentes ayudas a la cosecha, lo que permite que se ajusten las condiciones de trillado al detectar variaciones en el rinde o topografía del lote, además de minimizar el trabajo del operario, reduciendo el peligroso efecto fatiga. Combine Advisor comprende:

- Auto Maintain ajusta automáticamente la trilla para maximizar la limpieza y separación, cuidando cada grano.
- Harvest Smart regula la velocidad del equipo según el rendimiento del lote, optimizando cada metro cuadrado.
- Active Yield calibra automáticamente las balanzas para garantizar mediciones precisas sin esfuerzo. Active Yield elimina el largo proceso de calibración manual y lo sustituye con sensores automáticos que calibran la máquina al medir el grano a la vez que el depósito se llena. Esto permite tomar decisiones en tiempo real sin abandonar la cabina, proporcionando datos de mapeo de rendimientos más precisos.
- Ajuste Automático de Terreno adapta el sistema de limpieza al relieve del lote, sin importar las condiciones. El Ajuste activo de terreno al terreno aumenta la calidad del grano y reduce las pérdidas de grano al subir o bajar pendientes. Esta característica ajusta automáticamente las aberturas de las cribas de granzas y de grano de la cosechadora y controla cuidadosamente la velocidad del ventilador de limpieza, estabilizando los niveles de desechos y asegurando una muestra del depósito de grano más limpia. AutoTrac, nuestro piloto automático, te permite concentrarte en lo importante mientras la cosechadora mantiene el rumbo perfecto.

Para cada uno de los tratamientos se evaluaron los siguientes parámetros:

- Velocidad de trabajo (km/h);
- Productividad (ha/h);
- Consumo de combustible por hora (L/h);
- Eficiencia (tn/L)
- Consumo de combustible por superficie (L/ha);
- Granos rotos (%);
- Granos dañados (%);
- Pérdidas en la cosechadora (kg/ha);

En cumplimiento de las exigencias metodológicas establecidas por John Deere, el lote fue dividido longitudinalmente para la realización del ensayo, dejando en todo su perímetro una zona de resguardo sin evaluar. Esta franja tuvo como objetivo evitar la influencia del efecto

de cabecera sobre las pasadas, el cual puede generar distorsiones en los resultados (Figura 23).

Dentro del área ensayada se distinguieron claramente los dos tratamientos: el tratamiento sin Combine Advisor, identificado en color verde y ubicado en el sector derecho del lote, y el tratamiento con Combine Advisor, señalado en color amarillo y ubicado en el sector izquierdo.



Figura 23. Mapa del diseño experimental, tomado de Agronomy Analyzer.

El lote utilizado para el ensayo presentaba un cultivo de cebada en condiciones fisiológicas de madurez, con una humedad adecuada para la cosecha. No obstante, cabe aclarar que, posiblemente debido a la capacidad inherente de la cebada de movilizar nutrientes desde los tejidos vegetativos hacia los granos, se observan ciertas particularidades. Este proceso resulta ventajoso, ya que permite, aun en años con precipitaciones limitadas, un correcto llenado de grano, sin embargo, dicho mecanismo presenta como consecuencia negativa el debilitamiento de los tallos, especialmente del raquis, lo que provoca que ante la más mínima perturbación este se fracture y la espiga caiga al suelo, constituyéndose en una pérdida directa de cosecha. (Figura 24) Por este motivo, la velocidad del molinete del cabezal Draper resulta un factor crítico para minimizar las pérdidas durante la operación de cosecha.



Figura 24. Ejemplo dentro del círculo rojo de la condición de volcado de la cebada

En los registros de precipitaciones correspondientes a la localidad de Laprida, una de las más cercanas a la ubicación del ensayo, durante el mes de octubre de 2024 (Figura 25), período en el cual la cebada se encontraba en antesis, floración y llenado de grano, el cultivo atravesó un estrés hídrico, no concordante con las condiciones históricas de precipitaciones durante el mes octubre (Figura 26) Esta condición pudo haber provocado una intensa removilización de nutrientes, generando los efectos descritos anteriormente sobre la fragilidad de los tallos y espigas

Es importante aclarar que, si bien esta situación representó una dificultad desde el punto de vista operativo de la cosecha, la condición de vuelco se presentó de manera homogénea en todo el lote, debido a que fue provocado por un fenómeno meteorológico zonal de estrés hídrico en la etapa crítica de llenado de grano, afectando por igual a ambos tratamientos del ensayo, por lo que no influyó sobre los resultados obtenidos ni sobre su análisis.

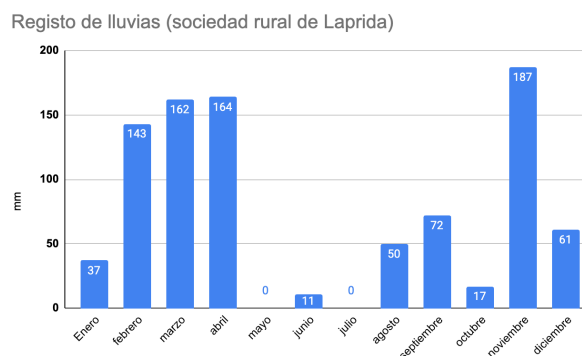
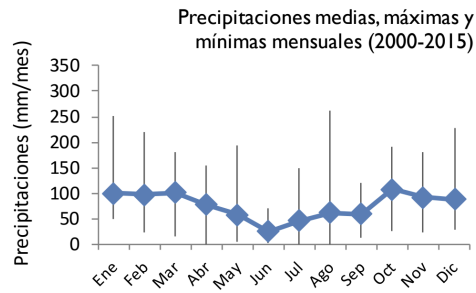


Figura 25. precipitaciones mensuales de la localidad de Laprida



En las figuras como la que se muestra aquí, el punto de color ◆ representa el promedio de una serie de meses, mientras que las líneas verticales negras muestran la variación (entre un mínimo y un máximo) de ese promedio mensual en la serie de años analizada.

Figura 26. Serie histórica mensual de precipitaciones para el partido de Laprida (Tomado de Recavarren, P. M. (2016)).

Un seguimiento del cultivo mediante Auravant® fue realizado antes del ensayo de cosecha, retomando sobre las fechas del cultivo implantación, macollaje, floración y madurez fisiológica, para seguir el manejo realizado y también lograr la confección de un mapa ambientado en Auravant®, superponiendo hasta siete imágenes de diferentes meses y alternando entre índice NDVI y GNDVI según la nitidez y el nivel de detalle que levantara cada índice. (Figura 27).

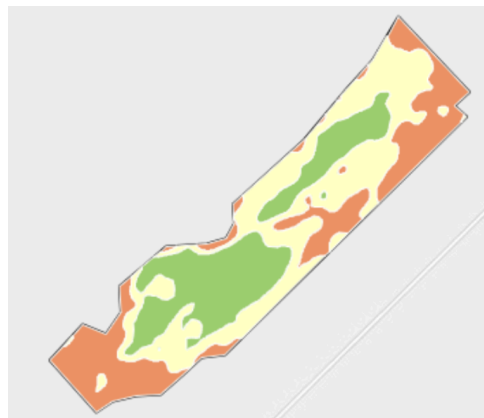


Figura 27. Ambientación realizada con índices verdes para el lote ensayado.

Sobre esta ambientación luego se realizaron comparaciones con el mapa de cosecha con el objetivo de comprobar la fidelidad de dichas ambientaciones y cómo funcionan para la producción de rindes. (Figura 28) Los resultados mostraron una alta correspondencia con la realidad productiva, observándose un buen acoplamiento entre los ambientes definidos y el mapa de rendimiento obtenido durante la cosecha.

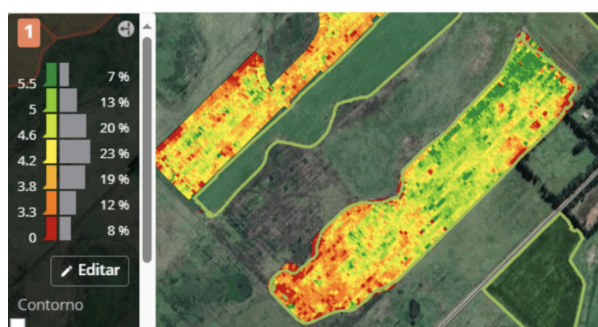


Figura 28. Mapa de rendimiento (t/ha).

Para el análisis de las pérdidas ocasionadas por cosecha se tuvo en cuenta los datos obtenidos de las determinaciones de laboratorio del grano que se cosechó en cada uno de los tratamientos se tomó de la misma tolva de la cosechadora aproximadamente un kilo de muestra para luego ser analizada en las categorías de: porcentaje de grano dañado, porcentaje de materia extraña (Tabla 4).

Tabla 4. granos rotos e impurezas por tratamiento

	CA	Sin CA
% Granos rotos	4,5	5,1
% Impurezas	0,4	0,1

La evaluación de las pérdidas de cosecha se realizó mediante la utilización de aros en ambos tratamientos. Cada repetición constó de cuatro aros, y por tratamiento se llevaron a cabo tres repeticiones. Los aros fueron arrojados tanto al costado de la máquina como sobre la denominada “panza” de la cosechadora, realizándose el conteo de granos sobre y bajo el aro, con el objetivo de cuantificar las pérdidas por cola y por cabezal, respectivamente.

Los resultados de este muestreo fueron también favorables para el uso de la asistencia Combine Advisor, ya que en todas las repeticiones se registró una menor cantidad de grano perdido, tanto en la cola como bajo zaranda. Una cosechadora que presenta menores pérdidas resulta más eficiente desde el punto de vista técnico y económico.

De igual manera, se contabilizaron los granos presentes bajo el aro, los cuales incluían tanto las pérdidas de precosecha como las pérdidas ocasionadas por el cabezal. (Figura 29) En esta instancia se observó un importante impacto de granos caídos y espigas en el suelo, correspondientes a pérdidas ocurridas antes del ingreso de la cosechadora al lote. Tal como se mencionó previamente, el lote presentaba una cebada con elevado grado de vuelco, lo que dio como resultado la presencia de espigas en el suelo sin trillar.



Figura 29. Identificación y recuento de granos sobre los aros.

Los resultados de los análisis realizados para determinar pérdidas por cosecha, se realizaron teniendo en cuenta un peso de mil semillas de 48 g y el rinde promedio del lote que resultó ser 4,7 tn/ha. En el estudio de los datos se realizaron los cálculos de cada una de las tres tiradas de aros por tratamiento por separado, luego promediando estos valores y obteniendo valores medios representativos del comportamiento de la trilla para cada uno de las cosechas ensayadas (Figura 30).

Con CA		Sin CA	
Perdidas promedio (Kg/ha)	91	Perdidas promedio (Kg/ha)	113
Perdidas por lote (Kg)	3368	Perdidas por lote (Kg)	4191
Precio cebada (Uds/tn)	196	Precio cebada (Uds/tn)	196
Perdidas por lote (uds)	\$660,22	Perdidas por lote (uds)	\$821,51

Figura 30. Análisis realizado en Excel ® de las pérdidas de cola y cabezal por tratamiento.

Para el caso de las pérdidas de cosecha los resultados son de 91 kg/ha perdidos por el tratamiento con Combine advisor y 113 kg/ha para la cosecha sin combine advisor, lo que extrapolado a la superficie de 37 ha que tiene el lote ensayado sería una pérdida de 3.368 kg y 4.191 kg respectivamente. Pero el valor cobra una relevancia mayor cuando es extrapolado a superficies más considerables comparables con las que un equipo de cosecha realiza dentro de una campaña, como 2500 hectáreas (Tabla 5).

Tabla 5. Pérdidas por cola en cosecha por tratamiento extrapolado a 2500 ha.

Con CA	
Perdidas promedio (Kg/ha)	91
Perdidas por lote (Kg)	3368
Perdidas por lote (Tn)	3,4
Perdidas campaña de 2500ha (Tn)	227,6
Precio cebada (Uds/tn)	196
Perdida por 2500 ha (Uds)	44609,6
Sin CA	
Perdidas promedio (Kg/ha)	113
Perdidas por lote (Kg)	4191
Perdidas por lote (Tn)	4,2
Perdidas campaña de 2500ha (Tn)	283,2
Precio cebada (Uds/tn)	196
Perdida por 2500 ha (Uds)	55507,2

Para el caso analizado las pérdidas por grano significaron para el tratamiento CA 161,28 dólares menos de pérdidas en las 37 ha analizadas, reinterpretando ese número en una superficie mayor más representativa de las hectáreas que un equipo del tipo analizado cosecha por campaña vemos que en 2500 hectáreas, ese número asciende a 10.897,6 dólares americanos. Valor en el cual es más dimensionable el impacto de la disminución en las pérdidas que implica la utilización de CA (Tabla 6).

Tabla 6. Cuantificación monetaria de las pérdidas medidas y las pérdidas potenciales en 2500 ha

Con CA	
Precio cebada (Uds/tn)	196
Perdida por 2500 ha (Uds)	\$44.609,60
Perdidas por lote (uds)	\$660,22
Sin CA	
Precio cebada (Uds/tn)	196
Perdidas por lote (uds)	\$821,51
Perdida por 2500 ha (Uds)	\$55.507,20
Diferencia entre tratamientos por 37 ha (Uds)	\$161,28
Diferencia entre tratamientos por 2500 ha (Uds)	\$10.897,60

Por último, se realizó el mismo análisis monetario sobre el uso de combustible por hectárea extrapolando a la superficie completa del lote, el consumo fue de 8,26 L/ha para el tratamiento de CA y 8,81 L/ha para la cosecha sin tratamiento, lo cual llevado a 37 hectáreas da un total de 305,6 y 326 L respectivamente (Tabla 7)

Tabla 7. cuantificación monetaria del consumo de combustible por tratamiento.

Tratamiento	CA	Sin CA
Consumo (l/ha)	8,3	8,8
Consumo (litros)	305,6	326,0
cotizacion del litro de combustible (\$/litro)		1800,0
Consumo (\$)	\$550.116,00	\$586.746,00

Para el caso analizado el ahorro de combustible es de 37 mil pesos solo en un lote de 37 hectáreas, pero extrapolando la superficie a una significativa para el tipo de cosechadora analizada que puede llegar a ser superior a las 2500 hectáreas por campaña, resulta en un menor consumo equivalente a una reducción en el costo de 2.500.000 de pesos aproximadamente. (Tabla 8) siendo así un monto significativo en el ahorro de combustible, lo que además impacta en los tiempos muertos de reabastecimiento y en la huella de carbono

Tabla 8. cuantificación monetaria del consumo de combustible por tratamiento en un escenario de cosecha de 2500 ha.

	CA	Sin CA
Consumo en 37 ha (\$)	\$550.116,00	\$586.746,00
Disminucion del consumo con CA	\$36.630,00	
Consumo en 2500ha (\$)	\$37.170.000,00	\$39.645.000,00
Disminucion del consumo con CA	\$2.475.000,00	

En lo que respecta a los otros resultados de las variables analizadas, fueron analizadas utilizando las métricas proporcionadas por Agronomy Analyzer y Operations center, esta última detalla cada 3 segundos un píxel donde se carga toda la información que la maquina recopila, de esta forma se puede analizar no solo el comportamiento entre tratamientos, sino que también se pueden comparar franjas dentro del mismo mecanismo de cosecha y realizar los análisis pertinentes. Las métricas analizadas fueron presentadas en términos absolutos y en porcentuales para poder entender desde ambas lógicas las diferencias entre tratamientos.

En cuanto a lo que es calidad de grano, como ya se mencionó en cuanto a porcentaje de grano partido y materia extraña o impurezas los resultados fueron contrastantes siendo mejor la cosecha con combine advisor en lo que respecta a granos partidos o rotos, pero mostrando un peor comportamiento si comparamos las impurezas, para estas últimas de todas formas los resultados se encuentran sobre las condiciones de calidad impuestas por la base estatutaria de cebada. (Figura 31).

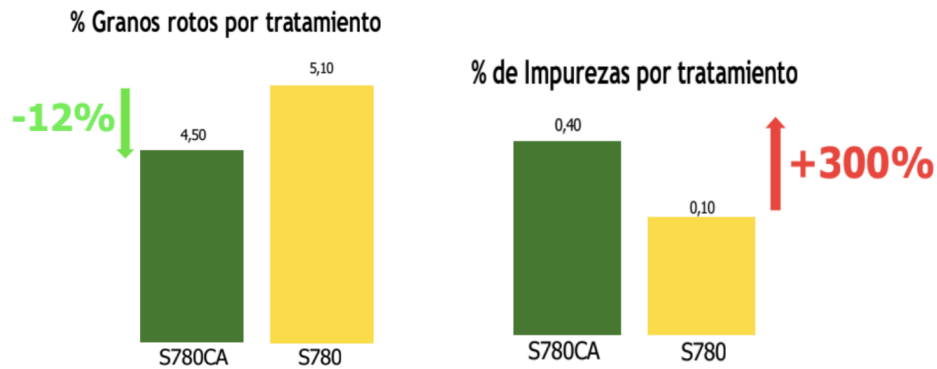


Figura 31. Comparativos entre tratamiento en lo que respecta a calidad del grano.

Sobre lo que es eficiencia y productividad de la maquinaria, vemos diversos índices como:

- Velocidad de trabajo (km/h);
- Rendimiento operativo de la máquina (ha/h);
- Consumo de combustible por hora (L/h);
- Consumo de combustible por superficie (L/ha);

VARIABLES QUE SURGEN DE LA TOMA DE DATOS PROPIA DE LA COSECHADORA, QUE LUEGO SON ANALIZADOS TANTO EN GRÁFICOS COMO MAPAS DE CALOR, EN OPERATIONS CENTER Y EL AG ANALYZER. SE UTILIZÓ ADÉMÁS LA FUNCIÓN DE COMPARACIÓN DE DICHS MAPAS DONDE ES POSIBLE PONER EN PARALELO DOS MAPAS CON ÍNDICES DIFERENTES, PARA IDENTIFICAR COINCIDENCIAS Y SU IMPACTO EN TÉRMINOS PRODUCTIVOS.

Para el parámetro de eficiencia según consumo de combustible por tonelada cosechada, se vieron resultados correctos para ambos tratamientos, siendo ligeramente superior para el tratamiento CA, donde las franjas pintadas de verde más extensas. (Figura 32).



Figura 32. Eficiencia en (tn/L) para los tratamientos CA y Sin CA.

En cuanto al consumo de combustible por hora, el tratamiento en el que se utilizó Combine Advisor presentó un menor consumo respecto al tratamiento sin asistencia. Este indicador resulta de gran importancia tanto para los operarios como para los propietarios de la maquinaria, ya que contribuye a la reducción de costos operativos y a la disminución de los tiempos muertos asociados a la recarga de combustible. (Figura 33).

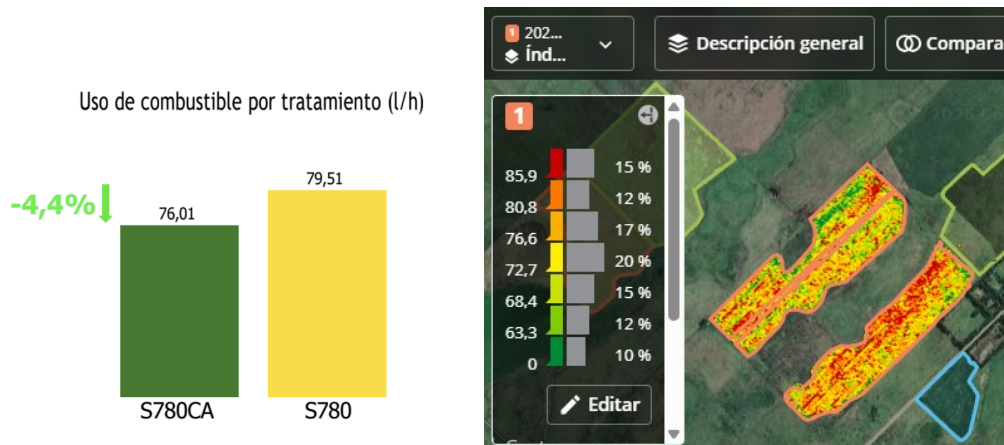


Figura 33. Comparación por tratamiento en el uso de combustible.

Otro de los indicadores de la eficiencia en el uso del combustible es el consumo expresado en litros por hectárea, donde también se observaron diferencias favorables para el tratamiento con la asistencia de Combine Advisor. De este modo, este resultado complementa al índice previamente descrito, evidenciando un menor consumo tanto por unidad de tiempo como por unidad de superficie, lo cual impacta nuevamente en la reducción de los costos de la operación de cosecha. (Figura 34).

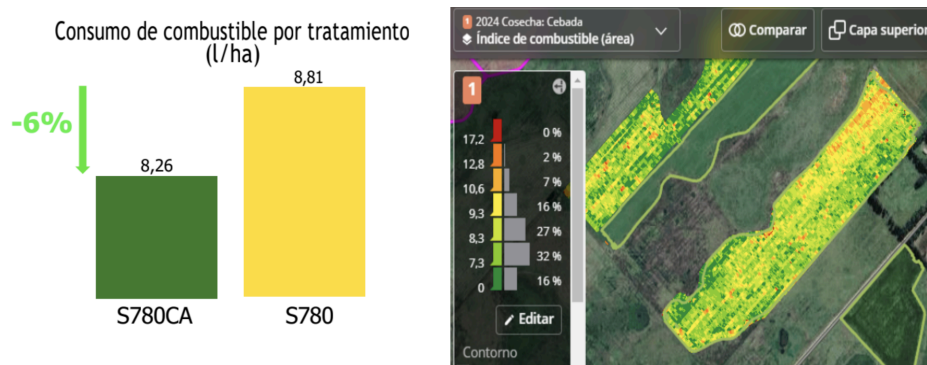


Figura 34. Gráfico comparativo por tratamiento en cuanto al uso de combustible por unidad de superficie y su distribución en el lote.

Uno de los índices medidos que, junto con las pérdidas de cosecha y el consumo de combustible, resulta de mayor relevancia es la productividad, expresada en hectáreas por hora. El tiempo operativo por hectárea constituye una métrica clave, especialmente para los equipos de cosecha tercerizados, ya que la capacidad de cosechar un lote de manera eficiente y en menor tiempo se traduce directamente en una mayor rentabilidad.

En este sentido, la zona ubicada a la derecha del lote, donde la productividad alcanzó 8,9 ha/h, corresponde al tratamiento cosechado con asistencia tecnológica de Combine Advisor, mostrando mejores resultados en comparación con el tratamiento en el que el operario realizaba el manejo de la trilla (Figura 35).



Figura 35. Imagen sobre el lote de productividad (ha/h). Gráfico de las diferencias entre tratamientos

Tanto los índices de uso de combustible por hectárea como el de las pérdidas por cola de la cosechadora son fácilmente reinterpretados en dinero, impactando directamente con la rentabilidad de la empresa minimizando pérdidas de grano y los costos del contratista por el uso de combustible.

El ensayo de cosecha fue propuesto mediante un consenso con el productor y el propietario de la maquinaria, diseñado, llevado a cabo, analizado y como último paso expuesto con su respectivo análisis mecánico, agronómico y económico a la comunidad de forma libre, para aquellos interesados en la tecnología de cosecha y sus bondades.

CONSIDERACIONES FINALES

La pasantía realizada cumplió con los objetivos personales, logrando un primer acercamiento satisfactorio con las actividades reservadas al título y generales donde la práctica de actividades de muestreo y ambientación, el contacto con productores, el ensayo de cosecha, el análisis de sus datos y la utilización de herramientas relacionadas con la agricultura de precisión, fueron los ejes centrales.

El participar y ver desde dentro la revolución de la agricultura de precisión, con sus avances diarios y su gran potencial de crecimiento en nuestro país y particularmente en la zona del sudoeste bonaerense semiárido fue gran parte en que la experiencia laboral haya sido tan satisfactoria y fructífera.

Comprender el valor de la tecnología de procesos aplicada a la producción económicamente viable, ambientalmente sostenible y socialmente aceptable es parte de la experiencia obtenida, creando un espacio para la mejora constante y el intercambio con los actores principales que son los productores, logrando articular sus preferencias personales y particularidades propias de cada establecimiento con los cambios que trae aparejado la adopción de la agricultura de precisión.

Sobre el eje ambiental es destacable que utilizar aplicaciones selectivas, controlar las pisadas en el lote, realizar los muestreos de suelo pertinente y la disminución de insumos y uso de combustible, son algunas de las prácticas que acercan a la producción agropecuaria a la sostenibilidad, priorizando la salud del suelo, agua y ambiente, reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero, potenciando el secuestro de carbono y focalizando en la importancia de los servicios ambientales vitales para la salud de nuestras comunidades.

Esta nueva percepción de los sistemas agrícolas, hortícolas y ganaderos, donde reina la toma de datos, su análisis y las decisiones basadas en ellos, representa para el sector agropecuario un gran avance, pero a su vez un desafío para promover su adopción, demostrando sus bondades y ese proceso en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires está en parte liderado por Navarro y su área de Soluciones Agronómicas.

La agricultura de precisión debe tener como lema y bandera de su revolución la adaptabilidad a los cambios, que siempre se presentan en las producciones agropecuarias y actualmente con mayor frecuencia, ya sea por los desbalances climáticos, resistencia adquirida de plagas y/o degradación del recurso suelo, es por esto que debe ser laxa y admitir los cambios y desafíos del futuro.

Los estudios cursados en la universidad me permitieron el desempeño en esta pasantía, logrando seguir al equipo y las directivas, asimilando nuevos conocimientos y prácticas gracias a las bases teóricas con las que contaba y las técnicas de estudio e interpretación adquiridas durante el transcurso por mi Alma Mater. Así mismo el desarrollo dentro del grupo demostró una sinergia potenciadora, donde los miembros se nutrían diariamente y lograban una cooperación dentro del equipo más que destacable y que permite lograr mejores y más grandes resultados, proporcionando un servicio más amigable para el usuario y que resulta beneficioso para ambas partes.

BIBLIOGRAFÍA

- AAPRESID. (2023). *Compactación de suelos: el enemigo silencioso que se lleva hasta un 15 % de los rindes*.
<https://www.aapresid.org.ar/blog/compactacion-suelos-enemigo-silencioso-lleva-15-rindes-actuar-labrar>
- Batey, T. (2009). Soil compaction and soil management – A review. *Soil Use and Management*, 25(4), 335–345.
- Bragachini, M. (2006). Mecanización Agrícola en Argentina. Presente y Futuro. Innovaciones Tecnológicas Previsibles. *Documento de Trabajo*, 1-39.
- Damilano, B. 2021. "Soluciones agronómicas" Navarro SA - John Deere: una experiencia en Pehuajó, provincia de Buenos Aires. Trabajo de intensificación Ingeniería Agronómica, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.
- Echeverría, H. E., García, F. O., Abbate, P. E., Aguirrezábal, L. A., Albaugh, T., Alfaro, M., ... & Vargas Gil, S. (2005). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos.
- Elkington, J., & Rowlands, I. H. (1999). Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business. *Alternatives Journal*, 25(4), 42.
- Fertilizar Asociación Civil. (2025). *Somos nuestro suelo: Manual digital*.
https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2025/05/Manual-digital_Somos-Nuestro-Suelo.-Simposio.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). *Building a common vision for sustainable food and agriculture*. FAO.
- Ocampo, M., & Santa Catarina, C. (2018). Agricultura de precisión. In *Oficina de Información Científica y Tecnológica para el congreso de la Unión (INCYTU)* (p. 15).
- Frolla, F. D., Zilio, J. P., & Kruger, H. (2015). Variabilidad espacial de la profundidad del suelo: Métodos de interpolación para el sudoeste bonaerense. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 41(3), 309-316.
- García, E. y Flego, F. 2008. Tecnología Agrícola. Universidad de Palermo.
Disponible en: www.agricultura.de.precision.org
- García, E., & Flego, F. (2008). Agricultura de precisión. *Revista Ciencia y Tecnología*, 8, 99-116.
- Gimenez, F. J. (2017). Ganancia Genética en Cebada Cervecera (*Hordeum vulgare* L.) en Argentina durante el período 1931-2007.
- Guaglianone, M. D. (2025). Adopción de Agricultura de Precisión en Argentina. Un análisis comparado con Estados Unidos. *Revista de Economía Política de Buenos Aires*, 19(30), 77-121.
- Hamza, M. A., y Anderson, W. K. (2005). Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82(2), 121–145.

- Instituto Geográfico Nacional. (2014). *Fascículo de suelos* (Serie Análisis y Fichas Nacionales).
https://static.ign.gob.ar/anida/fasciculos/fasc_afn_suelos.pdf
https://static.ign.gob.ar/anida/fasciculos/fasc_afn_suelos.pdf
- Lenta, S. 2023. Experiencia en agricultura de precisión y nuevas tecnologías en NAVARRO SA: soluciones en cosecha. Trabajo de intensificación Ingeniería Agronómica, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur.
- Sainz Rozas, H. R., Eyherabide, M., Larrea, G., Martínez Cuesta, N., Angelini, H., Reussi Calvo, N., & Wyngaard, N. (2019). *Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana* (Actas del Simposio Fertilidad 2019). Fertilizar Asociación Civil.
<https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2021/02/SAINZ-ROZAS-Fertilidad-2019-acta.pdf>
- Salinas, A. (2006). *Utilidad e importancia del análisis de suelos*. E.E.A. INTA Manfredi.
https://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/39-utilidad_analisis_suelos.pdf
- Scaramuzza, F., Accoroni, C., Méndez, A., Villarroel, D., & Vélez, J. (2014). *El potencial de la Agricultura de Precisión actual y futuro*. Revista de la Bolsa de Comercio de Rosario.
<https://www.bcr.com.ar/sites/default/files/agricultura.pdf>
<https://www.bcr.com.ar/sites/default/files/agricultura.pdf>
- Valero Ubierna, C. 2001. Agricultura de precisión: conceptos y situación actual. Vida Rural 136, 58-62. ISSN 1133-8938, Disponible en:
https://oa.upm.es/6291/1/Valero_36.pdf
- Valero, A. (1999). *Sistemas de Información Geográfica y agricultura de precisión: su aplicación en la ordenación del espacio agrario* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid.
https://oa.upm.es/6291/1/Valero_36.pdf
https://oa.upm.es/6291/1/Valero_36.pdf
- Martín, W. O. (2021). Monitoreo, análisis y clasificación de lotes de cosecha fina mediante imágenes satelitales.
- Ross, F., & de Barrow, C. E. I. (2012). Determinación espacial de la profundidad de suelo (tosca) y su relación con el rendimiento de cultivo. In *In Congreso de Valor Agregado en Origen* (Vol. 1, pp. 1-3).
- Recavarren, P. M. (2016). La producción agropecuaria en Olavarría, Benito Juárez, Laprida y Gral. La Madrid: evolución y desafíos a futuro.