

Pasantia laboral

**Trabajo Final de Carrera Ingeniería Agronómica-
Departamento de Agronomía - UNS**

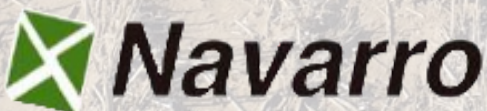
Navarro SA - John Deere **“Soluciones agronómicas”**

Alumno: VAYRA, Martin

Docente tutor: CHIMENO, Patricia

**Docentes consejeros: BONDIA, Pedro
Esposito, Martin**

Asesor externo: FERNANDEZ, Nicolas



Índice

Agradecimientos

Resumen

I. Introducción

1. Objetivo general
2. Objetivos específicos
3. Objetivos personales

II. Agricultura de Precisión

III. Navarro SA

1. Área “Soluciones Integrales”
2. Servicios brindados por el área de “Soluciones Integrales”
3. Programa de Pasantía laborales en Navarro S.A.
4. Metodología y Actividades realizadas durante la Pasantía laboral

IV. “Soluciones Agronómicas” Navarro SA - John Deere

1. Ubicación del lote
2. Caracterización climática
3. Implementación de Soluciones Agronómicas en Campo

V. Mirada desde la Triple Dimensión

VI. Consideraciones finales

VII. Bibliografía

Agradecimientos

A mi familia que me brindo la posibilidad de estudiar una carrera universitaria, acompañándome en todo el camino.

A la Universidad Nacional del Sur por brindarme la formación y capacitación con todo su plantel docente y no docente.

A mi tutora Patricia Chimeno por la paciencia, acompañamiento y enseñanza.

A mis consejeros Pedro Bondia y Martin Esposito por su tiempo y dedicación.

A todo el equipo de Navarro SA por integrarme y apoyarme durante mi pasantía.

A mis amigos que de una u otra manera me acompañaron y estuvieron presentes en cada momento.

Resumen

Hace ya varios años se vienen desarrollando tecnologías que se basan principalmente en la utilización de GPS, imágenes satelitales y aplicaciones variables de insumos en el campo, lo que para definir en pocas palabras conocemos como agricultura de precisión (AP). Actualmente, hay una creciente tendencia hacia el desarrollo de maquinaria agrícola equipada con sensores avanzados, que permiten que el equipo ajuste automáticamente su funcionamiento según las necesidades del cultivo y/o productor. De esta manera, las máquinas agrícolas se están volviendo cada vez más inteligentes, adaptándose tanto a las condiciones ambientales como a los requisitos específicos de los productores. El uso de estas tecnologías puede ayudar significativamente a mejorar los márgenes a través de un aumento del valor del rendimiento ya sea en calidad o en cantidad del producto, de una reducción de insumos utilizados por unidad de producto y/o ambas simultáneamente. En nuestra región la agricultura de precisión viene siendo cada vez más adoptada por productores y siendo cada vez más determinante en la producción. Principalmente, el desarrollo de nueva maquinaria agrícola con sensores conectados con el sistema operativo que permiten ajustar el funcionamiento del equipo a las necesidades de cada cultivo de manera automática. En la actualidad el objetivo principal de las marcas de maquinaria es el desarrollo de tecnología que permitan lograr avances en la AP. Entre las más importantes podemos nombrar a John Deere, la cual está representada en la región sudoeste de la provincia de Buenos Aires por el concesionario Navarro SA. En el transcurso del año 2021 se realizó un convenio con el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur para implementar una serie de pasantías laborales para alumnos avanzados en la carrera de Ing. Agronómica. A partir de una pasantía en dicho concesionario se desarrolló este trabajo que se basa principalmente en la tarea realizada en el área de Soluciones Integrales, donde principalmente se realizaron tareas basadas en la confección de mapas de aplicaciones variables a partir de capas con datos de muestreos de suelo por ambientes, análisis de penetrometría, mapas de rendimiento de cultivos anteriores y análisis de NDVI.

I. Introducción

Actualmente, la agricultura se encuentra atravesando un proceso de innovación constante impulsado por la incorporación de tecnologías digitales que permiten producir de manera más eficiente y sostenible. Este cambio tomó impulso en la década de 1990 y, desde entonces, no ha dejado de evolucionar, ofreciendo a los productores nuevas herramientas para mejorar la calidad de sus prácticas y la seguridad en el manejo de los cultivos. En este contexto surge la agricultura de precisión (AP), un modelo predictivo que se apoya en la variabilidad de los lotes para tomar decisiones específicas en cada sector del campo. Su principio radica en la aplicación diferenciada de insumos como semillas o fertilizantes en el lugar y momento adecuados, optimizando los recursos disponibles. A diferencia de la agricultura tradicional, cuyo fin principal era maximizar los rendimientos, la AP amplía la mirada, integrando la gestión económica, social y ambiental de las explotaciones (Agregar la cita).

El desarrollo de la AP se fundamenta en el Manejo Específico del Sitio (MES), una estrategia que permite adaptar las prácticas agronómicas a las condiciones únicas de cada ambiente productivo. Su premisa radica en ajustar las decisiones de manejo según las variaciones espaciales y temporales presentes en el lote, con el objetivo de optimizar el uso de insumos y mejorar la eficiencia productiva.

En esencia, el concepto del MES se resume en “hacer lo correcto en el lugar adecuado y en el momento oportuno” (Marote, 2010).

En la AP, la información es el recurso principal que define un ciclo continuo de actividades y procesos. Este ciclo se estructura en cuatro etapas fundamentales: la recopilación de datos, su análisis, la toma de decisiones y la posterior ejecución de acciones en el campo.

El presente estudio recorrerá este ciclo de la AP, profundizando en el análisis de suelo como una capa de información fundamental. El muestreo de suelo por ambientes específicos aporta datos cruciales sobre la fertilidad y la disponibilidad de nutrientes, mientras que el análisis de penetrometría ayuda a identificar problemas de compactación que podrían limitar el desarrollo radicular de los cultivos.

La integración de estas capas de información hace posible la ambientación y la posterior prescripción; estas son las dos actividades centrales de la AP. Mediante este proceso, se asignan tasas variables de insumos o se planifican intervenciones específicas para cada ambiente, lo que optimiza el uso de recursos y mejora significativamente la eficiencia agronómica del manejo.

I.1 Objetivo general

Caracterizar lotes mediante Agricultura de Precisión para delimitar ambientes de manejo y generar prescripciones que optimicen la toma de decisiones.

I.2 Objetivos específicos

1. Analizar el muestreo del lote con el fin de obtener resultados de fertilidad y penetrometría.
2. Confeccionar mapas a partir de las mediciones de campo para identificar zonas de compactación y su influencia en la productividad del lote.
3. Interpretar los resultados obtenidos para elaborar recomendaciones concretas que mejoren la eficiencia del manejo del cultivo y optimicen el uso de insumos.

I.3 Objetivos personales

1. Aplicar y consolidar los conocimientos teóricos obtenidos a lo largo de la carrera, volcándolos a experiencias prácticas de campo y al uso de herramientas tecnológicas en AP.
2. Adquirir experiencia práctica en el manejo de herramientas digitales (Auravant, QGIS, John Deere Operations Center) y en el uso de equipos de campo como el calador hidráulico Tornomar CH200.
3. Desarrollar habilidades profesionales en la interpretación y análisis de datos agronómicos, para aplicar a la confección de prescripciones y asesoramiento a productores.

4. Enriquecer el trabajo en equipo, interactuando con profesionales de diferentes áreas y aprendiendo de la dinámica laboral en una empresa del sector.

II. Agricultura de precisión

La AP es un enfoque moderno en la gestión agrícola que busca mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción mediante el uso de tecnologías avanzadas, de las cuales se puede mencionar como principales herramientas el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS), sensores remotos, drones, imágenes satelitales, sistemas de información geográfica (SIG), maquinaria agrícola inteligente y softwares especializados para el análisis de datos. Estas herramientas permiten recolectar información detallada sobre el clima, el suelo y el estado de las plantas lo que facilita la toma de decisiones más precisas y basadas en datos concretos. En lugar de tratar un campo o lote de manera uniforme, como se hacía tradicionalmente, la AP se enfoca en identificar las variaciones dentro de la misma área y manejar cada sección según sus particularidades. Algunos beneficios de la AP incluyen:

- Reducción de costos debido a la disminución del uso de insumos.
- Mayores rendimientos con menor nivel de insumos.
- Mayor calidad de las cosechas debido a la sincronización entre las necesidades del cultivo y la cantidad, forma y momento de aplicación de insumos.
- Reducción del impacto ambiental y mejora del bienestar social.

Más allá de los beneficios que ofrece la AP, su implementación enfrenta varios desafíos, como los altos costos iniciales y la necesidad de formación técnica por parte de los productores y operarios. No obstante, la AP marco el rumbo hacia un modelo de producción agrícola más eficiente, inteligente y sostenible, donde la innovación tecnológica inteligente es el principio fundamental.

Ciclo de Agricultura de Precisión

La AP se fundamenta en un ciclo continuo de cuatro pilares interconectados: recopilación de datos, análisis, toma de decisiones y acción.

El punto central es conocer bien los lotes con los que deseamos trabajar y la variabilidad que poseen. Si el manejo de dicha variabilidad justifica económicamente la inversión, probablemente este círculo (de la AP) termine con la aplicación variable de insumos (Marote, 2010).

Recopilación de datos

El primer paso del ciclo consiste en recopilar información detallada y georreferenciada sobre las condiciones del suelo, clima, cultivo y otros factores agronómicos. Para poder obtener esta información se utilizan diversas tecnologías como:

- Sensores remotos: Uso de satélites, drones o estaciones meteorológicas para la captura de imágenes multiespectrales que facilitan el análisis del estado de los cultivos.
- Análisis de suelo: Procedimientos para determinar parámetros específicos como la profundidad, humedad y fertilidad del suelo en puntos de muestreo definidos.
- Mapas de rendimiento: Herramienta generada a partir de datos históricos de cosecha y tecnología integrada en las cosechadoras, que permite visualizar y analizar la variabilidad del rendimiento dentro de un mismo lote o ambiente.
- Equipos con GPS: Dispositivos que aseguran el registro de la ubicación geográfica exacta de cada punto de muestreo o actividad en campo.

Análisis de datos

La información recopilada en el paso anterior del ciclo se organiza y procesa mediante distintos softwares especializados en la producción agrícola inteligente que permiten generar:

- Mapas de variabilidad espacial: Reflejan las diferencias intrínsecas dentro de cada lote, facilitando el tratamiento individualizado de cada espacio.
- Modelos de predicción: Permiten anticipar la aparición de plagas, monitorizar su avance y determinar las necesidades del cultivo (como agua, nutrientes, etc).
- Diagnósticos de eficiencia: Permiten evaluar la respuesta del cultivo tras la aplicación de insumos o productos fitosanitarios.

Toma de decisiones

Teniendo en cuenta los análisis realizados, el ingeniero agrónomo o el productor toma las decisiones sobre el manejo del lote, como por ejemplo definir dosis variable de fertilizantes o semilla y aplicaciones localizadas de fitosanitarios.

Acción

Las decisiones se ejecutan directamente en el campo. Para ello, es fundamental contar con maquinaria agrícola equipada con la tecnología adecuada para cada tarea.

En resumen, el ciclo agrícola nunca es estático; aunque se repitan las mismas decisiones, el resultado depende de múltiples factores variables (Figura 1). El objetivo es aprovechar la tecnología para lograr una agricultura más rentable, eficiente y sostenible.



Figura 1. Ciclo de Agricultura de Precisión. Fuente: (Agroecología, TORNOS 2018).

En síntesis, el ciclo comprende los cuatro pilares de la AP necesarios para que contribuya de manera eficiente en la producción. En este trabajo se ve reflejado como interactúan cada una de las fases de este ciclo, en donde la base fue contribuir brindando al productor una base de datos sobre la cual trabajar para poder facilitar la toma de decisiones a futuro y así lograr una mayor eficiencia productiva.

Agricultura de precisión en Argentina

El inicio de la AP en nuestro país nos lleva a la década de 1990, cuando el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), a través de su unidad en Manfredi (Córdoba) con el ingeniero agrónomo Mario Bragachini como principal referente, comenzó a incorporar monitores de rendimiento en cosechadoras.

Durante los años 2000 el adelanto tecnológico fue acompañado por una mayor adopción por parte de los productores, por lo que el INTA comenzó a desarrollar redes de capacitación y organizar eventos como el Congreso Internacional de

Agricultura de Precisión, transfiriendo conocimiento técnico a los usuarios de la tecnología.

En el sudoeste bonaerense, los primeros pasos en AP, ocurrieron a principios de la década del 2000, en paralelo con el desarrollo nacional, aunque con una adopción más reservada debido a las limitaciones económicas y ambientales de la región. El INTA Bordenave junto con diversas agencias de extensión agrícola y con empresas desarrolladoras de tecnología y maquinaria, jugaron un papel fundamental en cuanto a la difusión de tecnologías como los monitores de rendimiento, uso de GPS para siembra y fertilización y aplicación variable de insumos.

Uno de los principales enfoques de la AP en el sudoeste bonaerense ha sido la aplicación variable de insumos, en especial la fertilización, adaptada a las características edáficas de cada ambiente. A través del uso de mapas de rendimiento y análisis de suelos georreferenciados, los productores han logrado reducir costos y mejorar el uso eficiente de recursos, en especial en cultivos extensivos como trigo, cebada y girasol que son los principales de la región.

Otro aspecto destacado ha sido el uso de imágenes satelitales, drones y NDVI, que permiten monitorear cultivos en tiempo real y anticiparse a fenómenos como el estrés hídrico, plagas o deficiencias nutricionales.

Digitalización de la AP

En el proceso de digitalización de la AP, el punto central es el segmento usuario, quien recibe y gestiona las señales satelitales. A partir de ahí, se integran diversos componentes tecnológicos que trabajan en conjunto para fortalecer y hacer más eficiente esta transformación digital.

Para caracterizar estos elementos, se tomó como referencia el trabajo de Damilano (2021), que constituyó la primera Práctica Profesional Supervisada (PPS) derivada del convenio firmado entre la UNS y Navarro (S.A.).

Por un lado, se dispone del receptor satelital y el monitor, componentes que se encuentran dentro de la cabina de la maquinaria y están interconectados por un sistema de cableado. Por otro lado, los softwares de gestión agrícola, que ofrecen la flexibilidad de ser operados desde una tableta, computadora o teléfono móvil.

Estos componentes permiten interpretar las señales satelitales, determinando con precisión la posición y el funcionamiento de la maquinaria agrícola en el terreno.

A continuación se describen algunos de estos componentes tecnológicos.

Receptor: Este componente capta y procesa las señales satelitales del sistema GLONASS. Posteriormente, las transmite al monitor, donde las aplicaciones del software de visualización redefinen la señal para guiar la maquinaria y su implemento. Existen diversas marcas y modelos; a modo de ejemplo, la Figura 2 muestra un receptor StarFire 7000 de John Deere.



Figura 2. Receptor John Deere Starfire 7000. Fuente: (John Deere, 2024)

Monitor: Ubicado en la cabina de la maquinaria, este componente centraliza múltiples funciones operativas y de gestión. Permite cargar información al sistema, registrar mapas y visualizar en tiempo real el trabajo que realiza la máquina o el implemento. Además, facilita la importación y exportación de

archivos y ofrece una monitorización detallada de las condiciones técnicas del tractor (consumo de combustible, velocidad, temperatura del motor, tiempo de trabajo, productividad). El monitor también muestra el nivel de insumos en el tanque, las hectáreas trabajadas y la dosis de aplicación, posibilitando realizar calibraciones y verificar el estado de los dosificadores. Este conjunto de acciones optimiza la gestión y la toma de decisiones en el campo.

La Figura 3 presenta el monitor G5, la última innovación desarrollada por John Deere. Este modelo es el más avanzado de su línea, ya que ofrece un conjunto completo de capacidades para la AP, incluyendo funciones centrales como la documentación, el control automático de secciones y la sincronización de datos en tiempo real.



Figura 3. Monitor John Deere G5. Fuente: (John Deere, 2024)

El Software de gestión agrícola comprende los programas informáticos diseñados para interpretar, de forma clara y accesible, la información recopilada por los monitores y las señales satelitales. Su objetivo principal es optimizar y simplificar la gestión de las tareas realizadas en el campo.

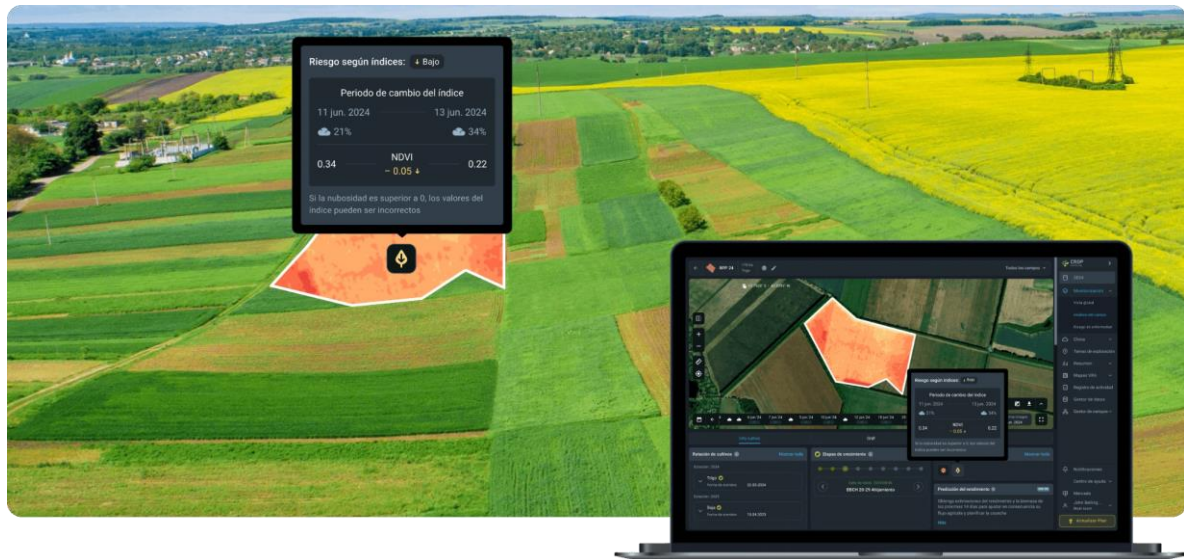


Figura 4. Software de gestión agrícola. Fuente: (EOS Data Analytics, 2024)

Las principales funciones de estos *softwares* incluyen:

- **Determinación de ambientes dentro del lote:** Esta función se centra en segmentar la superficie cultivable en zonas con un potencial agronómico similar u homogéneo. Habitualmente, el software divide el terreno en dos o tres ambientes diferenciados, basándose en la heterogeneidad identificada en el campo.
- **Prescripciones:** A cada ambiente o zona predefinida del lote se le asigna una dosis de insumo específica, la cual varía en función del potencial de productividad o el objetivo agronómico determinado para dicha área.
- **Seguimiento de cultivos mediante imágenes satelitales:** A través de softwares especializados que capturan y procesan datos satelitales en tiempo real, es posible realizar un monitoreo detallado del cultivo. Este seguimiento se logra observando dos índices clave:
 - a. NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)
 - b. GNDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde)

Estos indicadores permiten evaluar el vigor y la salud de los cultivos, facilitando la toma de decisiones agronómicas precisas.

Una vez generada la prescripción, con las dosis de insumos asignadas para cada área del lote, la maquinaria debe ejecutar la tarea en el campo.

Para llevar esto a cabo, es indispensable contar con un sistema de posicionamiento (GPS/GNSS) que guíe a la máquina e indique la cantidad exacta de insumo que debe aplicar en cada punto del terreno por donde avanza.

El funcionamiento de este sistema se inicia con el receptor: cada satélite envía una señal que permite calcular la distancia entre este y la máquina, determinando así su ubicación precisa en tiempo real.

Cuando el receptor capta señales de múltiples satélites, puede calcular su posición exacta. Al recibir señales de al menos tres satélites diferentes, el sistema es capaz de triangular la ubicación precisa de la máquina en un área determinada mediante la intersección de esas señales.

Cuando el receptor recibe señales de dos satélites diferentes, puede acotar la ubicación posible de la máquina a un área determinada que se encuentra entre las intersecciones de esas señales.

Como se muestra en la Figura 5, la posición de la máquina se encuentra en algún punto dentro del área sombreada en rojo, que representa el rango de ubicación posible determinado por las señales disponibles.

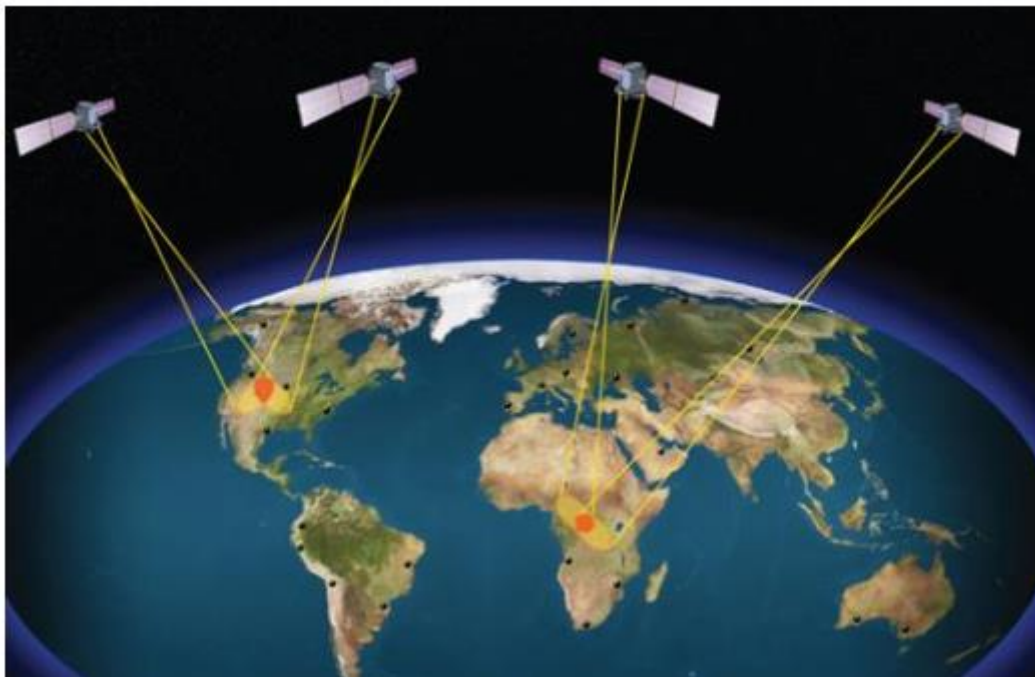


Figura 5. Intersección entre dos satélites. Fuente: (John Deere, 2021)

Cuando el receptor capta la señal de tres satélites o más, se produce la triangulación. Las señales de los primeros satélites se interceptan para delimitar la ubicación de la máquina en el plano horizontal, proporcionando la latitud y longitud exactas. Este proceso se denomina: posicionamiento bidimensional (2D).

Si el receptor capta la señal de al menos cuatro satélites, además, se calcula la altitud y se obtiene el posicionamiento tridimensional o 3D, como se observa en la Figura 6.

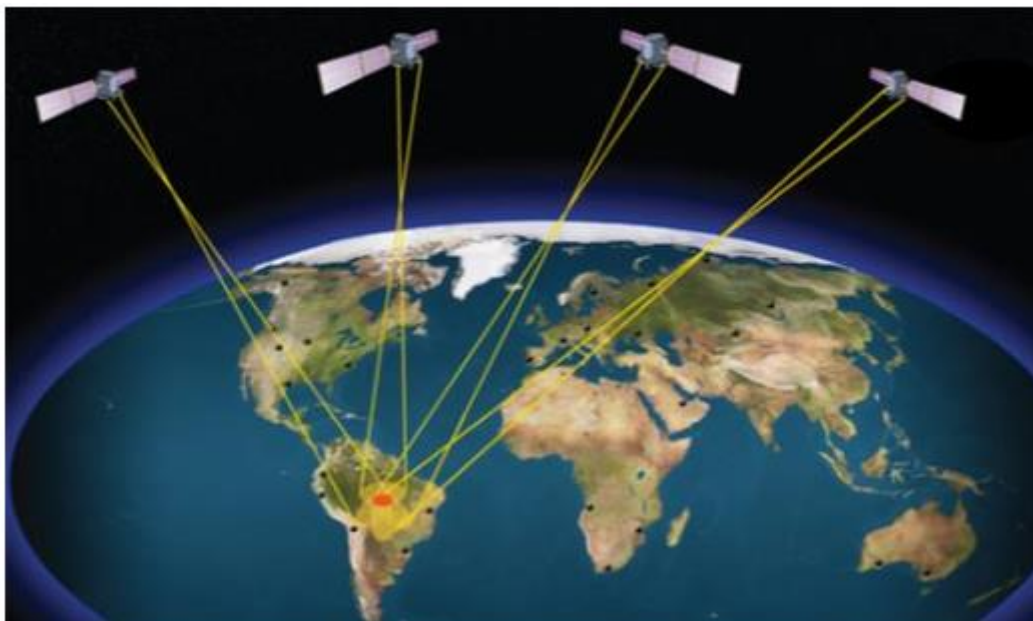


Figura 6. Posicionamiento tridimensional. Fuente: (John Deere, 2021)

Desarrollo de Maquinaria para AP

La AP ha impulsado el desarrollo de la maquinaria agrícola, orientando a las marcas a incorporar sensores, automatización de comandos y regulaciones, conectividad y sistemas de control remotos en tiempo real. Todos estos parámetros se integran con el objetivo de lograr una mayor eficiencia y exactitud en las labores agronómicas, así como una mejor adaptación a las condiciones específicas de cada ambiente dentro de un lote.

Entre los principales avances tecnológicos que representan la AP, podemos destacar:

- Cosechadoras con monitores de rendimiento

- Sembradoras, pulverizadoras y fertilizadoras equipadas con dosificación variable y corte por sección
- Tractores con piloto automático y guiado satelital
- Maquinaria auxiliar como drones y sensores
- Equipos con conectividad que trabajan simultáneamente con plataformas digitales, procesando datos en tiempo real.

En la actualidad, son numerosas las firmas que han incorporado el desarrollo tanto de maquinaria como de softwares y plataformas dedicadas a lograr una mayor eficiencia en la AP.

Una de las empresas líderes y pioneras en este ámbito es John Deere. Fundada en 1837 en Moline, Illinois (EE. UU.), esta empresa estadounidense se especializa en la fabricación de maquinaria agrícola, forestal y de construcción. La marca es reconocida a nivel mundial en el sector por su innovación tecnológica, calidad y durabilidad.

En el ámbito de la AP, John Deere ha sido una de las compañías precursoras en el desarrollo de soluciones integradas que combinan maquinaria inteligente, conectividad, automatización y plataformas digitales para la toma de decisiones agronómicas. Sus productos abarcan tractores, cosechadoras, sembradoras y pulverizadoras, todos equipados con sistemas de guiado satelital, control automático de secciones, dosificación variable y gestión remota mediante su plataforma John Deere Operations Center.

Actualmente, la marca cuenta con presencia en más de 130 países y operaciones de producción en 15 naciones, incluyendo Argentina, Brasil, Canadá, Finlandia, Francia, Alemania, India, México, Holanda, Nueva Zelanda, Rusia, Sudáfrica, España y Estados Unidos.

En Argentina, John Deere mantiene una sólida presencia industrial y comercial. Cuenta con:

- Una planta de producción en Granadero Baigorria (Santa Fe), que abastece al mercado local y regional.

- Una extensa red de concesionarios que brinda servicios de postventa, capacitación y soporte técnico especializado.

III. Navarro SA

Nace en 1975 en Coronel Pringles, fundada por Alfredo Navarro, siendo su principal actividad la venta de herramientas y maquinaria agrícola. En 1984 la firma pasa a ser concesionaria oficial John Deere en la región sudoeste bonaerense. Con la intención de brindar soluciones al productor agropecuario en todas sus necesidades y seguir fortaleciendo la relación con John Deere, Navarro SA expande su zona de influencia, incorporando nuevos puntos de venta (Figura 7).

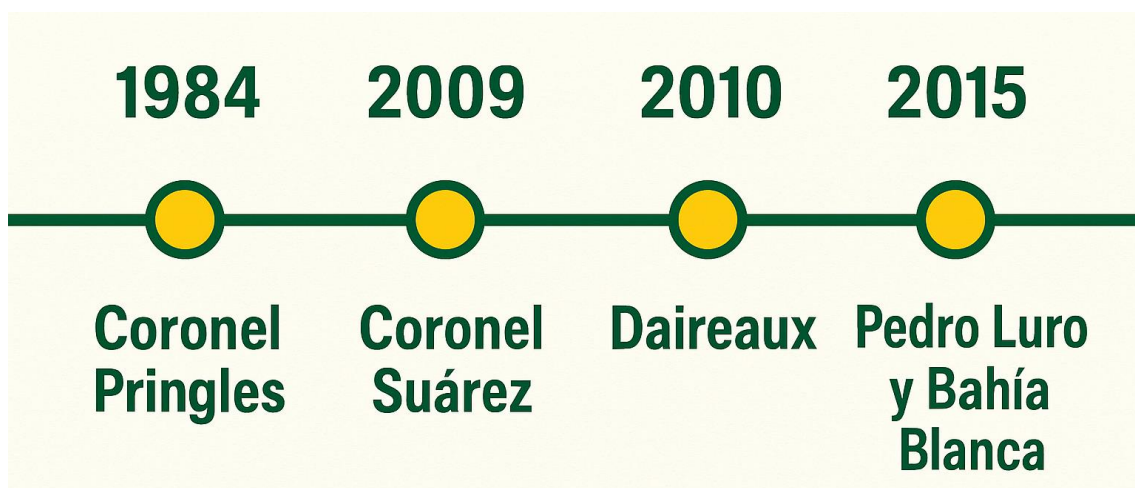


Figura 7. Trayectoria de la concesionaria John Deere Navarro SA. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

A partir de este posicionamiento en la región colocándose como una de las concesionarias líderes en la venta de maquinaria y soluciones agrícolas, Navarro SA define los lineamientos 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 de Navarro SA – John Deere es ser líder en soluciones para el agro de la región, basados en los valores y la calidad de la gente, que les permita satisfacer a sus clientes y establecer relaciones sustentables en el tiempo.

Valores: Los valores en los que se cimienta la empresa se basan en cuatro pilares (Figura 8).



Figura 8. Valores de la empresa. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

La incorporación de nuevas sucursales y nuevos servicios brindados por parte de la empresa exigió una estructura de organización compleja la cual cuenta con 8 gerencias de área coordinadas por una gerencia general y un directorio.

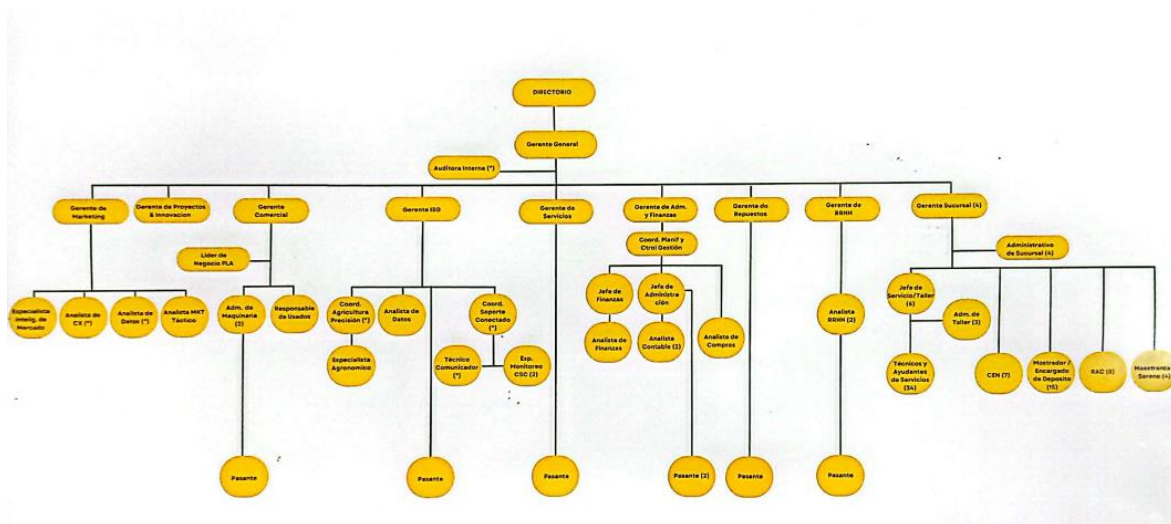


Figura 9. Organigrama empresarial de Navarro SA 2025. Fuente: (Navarro SA, 2025)

A lo largo de su trayectoria la empresa ha basado su trabajo en tres pilares fundamentales: la preocupación por el cliente, la actitud de servicio permanente y la capacitación constante del equipo de trabajo.

El compromiso con la excelencia en el servicio, el vínculo cercano con los productores y una búsqueda permanente por mejorar los procesos internos han sido claves en el crecimiento sostenido de la compañía. Navarro S.A. entiende que la confianza del cliente no se gana únicamente con buenos productos, sino también con un respaldo técnico eficiente, asesoramiento personalizado y una actitud proactiva frente a las necesidades del campo.

Este enfoque integral fue reconocido en el año 2010, cuando Navarro SA fue distinguido por John Deere como “Concesionario Clase Mundial”. Este premio se otorga únicamente a aquellos distribuidores que cumplen con los más altos estándares internacionales de calidad, gestión y atención al cliente. Dicha distinción posicionó a Navarro no solo como un referente regional, sino también como un modelo dentro de la red global de concesionarios de la marca.

Los reconocimientos obtenidos no son solo un objetivo logrado, sino un incentivo para seguir creciendo. Por eso, Navarro S.A. continúa invirtiendo en infraestructura, tecnología y capital humano, manteniéndose siempre a la vanguardia del sector agrícola.

En línea con las nuevas directrices de John Deere, Navarro S.A. promueve activamente la adopción de AP, proporcionando tanto el equipamiento como las soluciones necesarias para facilitar esta transición.

En los últimos años, la empresa ha identificado que muchos clientes adquieren maquinaria de última generación como tractores, cosechadoras, sembradoras y pulverizadoras equipadas con tecnología avanzada, pero no aprovechan plenamente su funcionalidad debido principalmente a la falta de conocimiento sobre el manejo de la misma principalmente.

Ante esta situación, surge la iniciativa “Soluciones Integrales”, con el objetivo de ofrecer servicios de asesoramiento personalizado, orientados a maximizar el uso de estas tecnologías. Esta propuesta incluye recomendaciones específicas con un enfoque centrado en promover una producción agrícola sustentable y eficiente.

III.1 Área Soluciones Integrales

El área de soluciones integrales de Navarro S.A. está segmentada en dos divisiones: Soluciones Conectadas y Soluciones Agronómicas.

La primera se enfoca en el soporte técnico remoto para las máquinas vinculadas al Operations Center JD, mientras que Soluciones Agronómica provee asesoramiento y apoyo especializado a los productores.

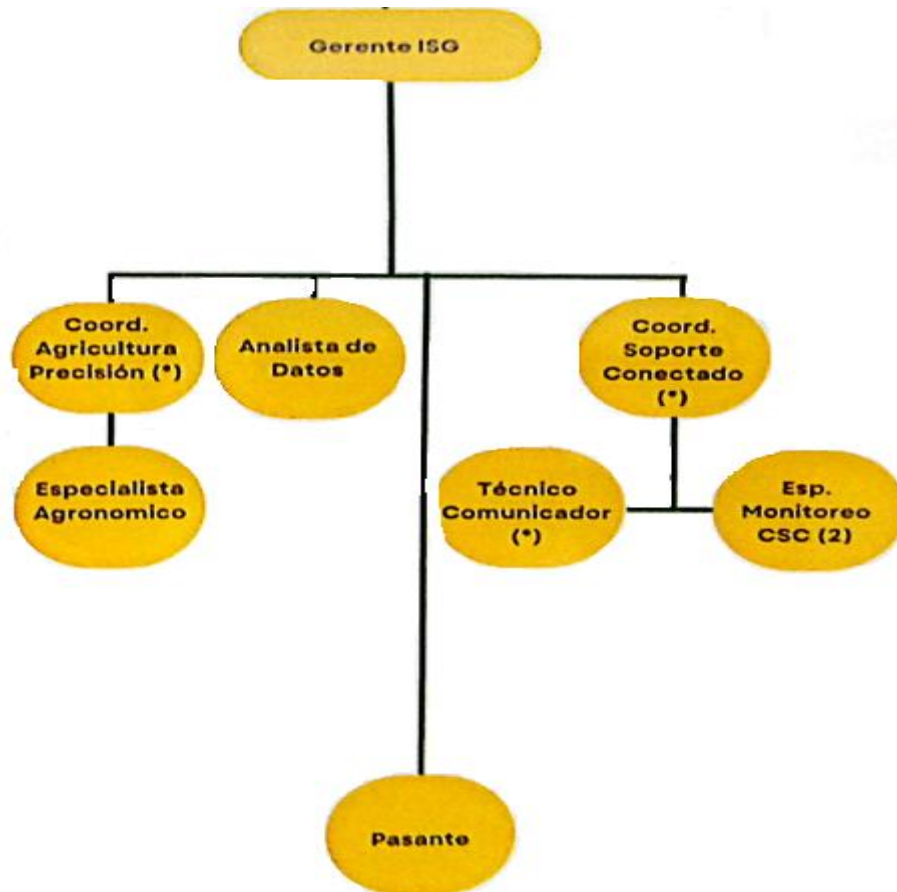


Figura 10. Organigrama del área Soluciones Integrales. Fuente: (Navarro SA, 2025)

Las actividades que se desarrollaron en la pasantía laboral llevada a cabo en la empresa Navarro SA - John Deere, tuvieron como propósito participar tanto en los trabajos a campo realizando muestreos de fertilidad en suelos y análisis de penetrometría, como también en la confección de mapas de productividad por ambiente para luego ser usados en futuras prescripciones.

III.2 Servicios brindados por el área de Soluciones Agronómicas

El asesoramiento y apoyo especializado que el área de Soluciones Agronómicas ofrece a los productores comprende las siguientes actividades:

- Ambientación georreferenciada: Determinación de distintas zonas productivas dentro de un lote a partir de imágenes satelitales y/o de mapas de rendimiento, en donde son agrupadas hectáreas de un lote que tengan igual o similar potencial productivo. La cantidad de ambientes dependerá principalmente de la variabilidad que tenga cada potrero y del criterio del productor/asesor del establecimiento. La finalidad es mejorar la eficiencia en el uso de insumos.
- Corroboración de ambientación a campo: Con visitas a campo, se correlacionan las imágenes satelitales con la realidad, para ajustar la variabilidad de ambientes de cada lote. Parámetros adicionales como profundidad efectiva, compactación, elevación y posición en el paisaje son muy importantes para realizar dicho ajuste.
- Análisis de compactación y muestreo de suelo: Mediante un calador hidráulico se toman muestras de suelo de forma georreferenciada como también se pueden realizar mapas de profundidad para la confección de futuras prescripciones.
- Prescripciones: Se generan mapas a partir de los ambientes definidos en los cuales se determinan las dosis de insumos a aplicar en cada zona productiva ya sea de semillas o fertilizantes.
- Análisis e informes de labores: Una vez ejecutada alguna labor, ya sea rastra, siembra, fertilización, pulverización o cosecha, se crea una cuenta al cliente en Operations center donde se pueden cargar todos los mapas sean o no John Deere y realizar el análisis correspondiente.
- Análisis de cosecha: Una vez finalizada la campaña, procesamos y analizamos los mapas de rendimiento, que luego pueden ser utilizados en otras prescripciones para futuras aplicaciones variables o en diagnósticos agronómicos avanzados.

Lineamientos para la ejecución de actividades de Soluciones Agronómicas

A la hora de brindar un servicio, la empresa sigue un proceso sistemático que integra herramientas digitales, maquinaria especializada y criterios técnicos de Agricultura de Precisión. A continuación, se detallan los pasos a seguir para la obtención de datos, el análisis de los mismos y la elaboración de una ambientación/prescripción.

Análisis del lote a trabajar

El cliente debe brindar la información sobre la ubicación y el perímetro del lote en el que se va a realizar el trabajo, el cual puede ser compartido en un archivo KMZ que empaqueta información geográfica para ser visualizada en otros programas, mostrando puntos de interés, rutas, zonas de cobertura y otros datos geoespaciales.

Se debe tener en cuenta si el lote ya se ha trabajado por ambientes, si tiene alguna variación en el relieve (loma, media loma, bajo), mapas de rendimiento de cultivos anteriores, etc. En el caso de que se quiera dividir el lote por ambientes pero no tengamos ningún tipo de información al respecto se puede recurrir a trabajar con imágenes satelitales y calcular el NDVI de cultivos anteriores y ver si existe algún tipo de variación que nos permite diferenciar un ambiente de otro dentro del mismo lote.

Diagramar el muestreo

Utilizando Auravant, una plataforma de gestión agrícola que integra, analiza y visualiza información georreferenciada de los lotes, podemos optimizar el proceso de muestreo.

Esto implica planificar y demarcar digitalmente los puntos exactos de toma de muestras en el terreno, garantizando que el trabajo de campo se realice con ubicaciones precisas y predefinidas.

El beneficio principal es la precisión: al georreferenciar cada punto de muestreo, se puede generar un mapa de fertilidad altamente detallado. Esta información, a su vez, permite realizar una fertilización variable con un nivel superior de exactitud y eficiencia.

Muestreo

El concesionario dispone de un equipo de muestreo avanzado, que incluye una camioneta equipada con el calador automático TORNOMAR CH200.

Este sistema está diseñado para el muestreo intensivo y la medición precisa de la compactación del suelo. Además, el equipo se gestiona mediante la aplicación PIQUE, que facilita la administración de muestras y mapas de muestreo, optimizando significativamente las operaciones en campo.



Figura 11. Penetrómetro hidráulico Tornomar CH200. Fuente: (Tornomar, 2024)

Especificaciones Técnicas del Equipo de Muestreo:

- Profundidad de Muestreo: Capacidad automática de hasta 80 cm (ajustable) y manual de hasta 2 metros.
- Medición de Compactación: Equipa un sensor de presión que registra datos cada 1 cm de profundidad.
- Evaluación de Resistencia: Incluye un penetrómetro incorporado para el análisis de la resistencia del suelo.
- Detección de Capas Limitantes: Sensor de profundidad que identifica capas restrictivas, como la tosca.
- Automatización: Sistema de recolección automática de muestras.
- Control y Gestión: Operación remota mediante la aplicación PIQUE.

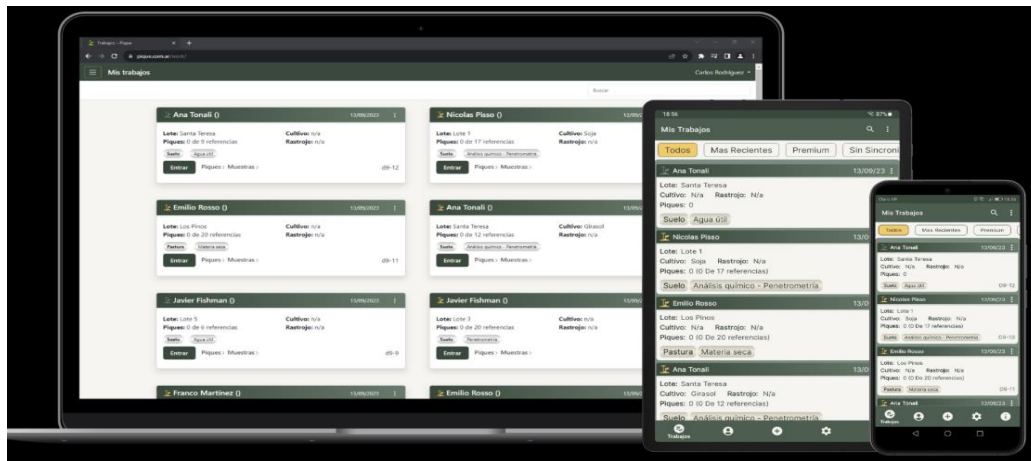


Figura 12. Bandeja de entrada de la app PIQUE. Fuente: (Pique, 2025)

Configuración del calador

El modelo CH200 permite seleccionar la profundidad de extracción. Si bien el equipo es capaz de alcanzar hasta 2 metros de profundidad, la metodología de trabajo habitual implica la división por capas predefinidas (por ejemplo: 0–20 cm, 20–40 cm, 40–60 cm).

Análisis de la muestra

Una vez recolectadas la cantidad de muestras adecuada para cada lote, las mismas son llevadas al laboratorio (a convenir con el cliente) para hacer el correspondiente análisis químico de las mismas para así poder determinar la fertilidad del lote o de cada ambiente del mismo según haya sido programado el muestreo. El laboratorio que realiza el análisis devuelve una planilla con los datos de la cantidad de nutrientes que contiene cada muestra y con eso se realiza un correcto asesoramiento para la fertilización.

Los parámetros analizados en un muestreo estándar generalmente son:

- Nitrógeno disponible
- Fósforo
- pH

Profundidad del lote

Para el análisis de profundidad, se deben configurar los puntos de medición considerando la superficie (hectáreas) y la variabilidad intrínseca del lote.

Al accionar el calador sobre el punto determinado, el equipo penetra el suelo y registra la resistencia a la penetración en megapascuales (MPa), hasta alcanzar los 80 cm de profundidad o encontrar una capa limitante (ej. tosca).

Estos valores se representan gráficamente, mostrando el nivel de dureza para cada centímetro. Finalmente, la aplicación permite descargar los datos de cada punto de muestreo a una planilla Excel, facilitando su posterior análisis y la confección del mapa de profundidad.

Confección del mapa de profundidad efectiva

Utilizando el archivo KMZ del mapa del lote, se procesa la información en el software QGIS. Mediante la integración de las coordenadas registradas durante el trabajo de campo, se genera un mapa preciso con la ubicación exacta de cada punto de penetración. A cada uno de estos puntos se le asigna su respectivo valor de profundidad efectiva.

Ambientación de lote según NDVI

Uno de los métodos más utilizados para la ambientación de lotes es el análisis de imágenes satelitales o de drones que emplean el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Este índice se mide a partir de la reflectancia de la vegetación en dos bandas del espectro electromagnético: la luz roja (Red) y el infrarrojo cercano (NIR).

La ambientación con NDVI proporciona un panorama de la división del lote basado en su productividad potencial.

El proceso comienza con la revisión del historial de cultivos y fechas de siembra anteriores, lo que permite identificar imágenes de fechas clave que revelen diferencias asociadas a la productividad del suelo. No obstante, esta aproximación es una estimación, ya que las variaciones observadas podrían deberse tanto a la calidad del suelo como a factores bióticos (enfermedades o plagas).

Para la obtención, combinación y segmentación de estas imágenes en los ambientes deseados, empleamos la plataforma digital Auravant.

Proceso de ambientación en Auravant

- Ingreso al Lote: Dentro de la plataforma, se selecciona el lote específico que se desea analizar.
- Selección de Fecha e Índice: Se elige una imagen de fecha reciente y buena calidad (libre de nubes) y se aplica el índice NDVI para visualizar la variabilidad del cultivo presente.
- Análisis Multitemporal: La comparación de imágenes NDVI de diferentes fechas permite identificar patrones de productividad recurrentes y el comportamiento histórico del terreno.
- Generación de Ambientes: Mediante la herramienta de “Ambientación” de Auravant, se segmenta el lote en zonas homogéneas (alta, media y baja productividad) utilizando el rango de valores NDVI.
- Ajuste Manual: El usuario tiene la opción de modificar los polígonos manualmente para refinar la precisión, integrando información adicional de campo (análisis de suelo, relieve, historial productivo).
- Exportación de Capas: Los mapas de ambientes generados se descargan en formatos compatibles con los monitores de siembra/fertilización, facilitando la aplicación de dosis variables de insumos.

Prescripción para la aplicación variable de insumos

La prescripción de un lote es el proceso mediante el cual se define y planifica la aplicación de insumos agrícolas en función de las características específicas de cada sector del lote. Nos permite que la máquina realice de forma automática la dosificación de semillas, fertilizantes o agroquímicos de forma variable optimizando costos y reduciendo costos y desperdicio de insumos.

- Siembra variable: ajustar la densidad de semillas según potencial productivo.

- Fertilización variable: aumentar dosis en ambientes de alto rendimiento y reducir en sectores de menor respuesta.
- Aplicación selectiva de herbicidas: dirigir el tratamiento únicamente a zonas con presencia de malezas.

Generación del archivo de prescripción: Debemos configurar en la plataforma digital el mapa con las dosis asignadas a cada zona y luego exportar en un formato compatible con el monitor o controlador de la maquinaria.

Ejecución en campo: Cargar el archivo de prescripción en la sembradora, fertilizadora o pulverizadora equipada con control de dosis variable. También debemos monitorear la aplicación en tiempo real para asegurar la correcta lectura del mapa y la ejecución según lo planificado.

III.3 Programa de Pasantía laboral Navarro SA

Este programa nace de un convenio de colaboración establecido en 2021 entre la concesionaria Navarro SA y el Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.

El acuerdo implementa una serie de pasantías laborales dirigidas a estudiantes avanzados de Ingeniería Agronómica, centradas principalmente en las tareas y proyectos desarrollados por el área de Soluciones Agronómicas.

El presente trabajo corresponde a la ejecución de una de dichas pasantías, con el propósito de profundizar en aspectos específicos que desarrolla esta área.

III.4 Metodología y Actividades realizadas durante la Pasantía laboral

Las actividades descritas en este trabajo se llevaron a cabo durante la pasantía laboral en Navarro SA, dentro del área de representación que comprende los partidos de Coronel Pringles, Coronel Suárez, Bahía Blanca, Daireaux y Pedro Luro.

Dichas actividades se desarrollaron bajo la supervisión del gerente de Soluciones Integrales, el Ing. Nicolás Fernández.

La pasantía tuvo una duración de 6 meses comenzando en el mes de marzo y terminando en el mes de septiembre del año 2024 sumando un total de 480 horas en las cuales se incluyó trabajo de oficina y trabajo a campo.

El primer paso fue comprender la metodología de trabajo tanto de la empresa como del área en la cual iba a desarrollar mi trabajo, adquirir conocimientos y aprender a utilizar las plataformas agronómicas usadas para ofrecer los servicios como Auravant, Qgis y Operations center JD. Durante las actividades desarrolladas a campo, fue necesario profundizar en la información relacionada con el muestreo de suelo y el uso del penetrómetro hidráulico CH200. Este proceso implicó adquirir un mayor conocimiento sobre las metodologías adecuadas para la toma de muestras representativas, la determinación de la profundidad de muestreo y la correcta manipulación del equipo.

Debido a acuerdos de confidencialidad, la identidad del cliente se mantiene anónima.

IV. Soluciones agronómicas Navarro SA - John Deere

En este trabajo se muestra el servicio de análisis de suelo y penetrometría brindado a un cliente, donde primero se busca realizar una ambientación del lote en base a imágenes de NDVI y luego trabajarlo por ambientes en caso de que sea factible. En base a eso brindar al productor un mapa con datos que podrá utilizar para futuras prescripciones en la aplicación de insumos variable.

IV.1 Ubicación del lote

El caso de estudio se encuentra situado en la provincia de Buenos Aires a 70 km al norte de la localidad de Cnel. Suarez (Figura 13).



Figura 13. Ubicación del partido de Cnel. Suarez dentro de la Provincia de Buenos Aires. Fuente: (Wikipedia, 2018)

La localización exacta del lote es 37°7'43" latitud sur y 61°57'50" longitud oeste y se ingresa por la ruta provincial N° 60 (Figura 14).

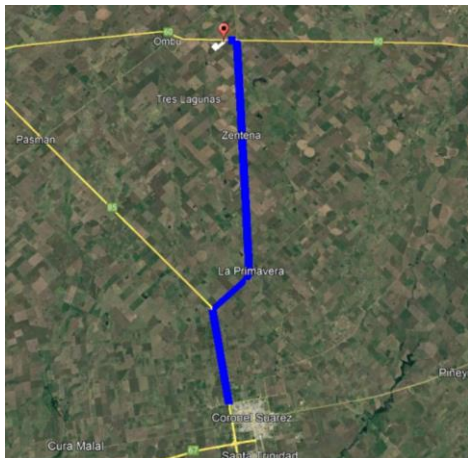


Figura 14. Ruta desde Cnel. Suarez al lote. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

El lote tiene una superficie productiva de 24 ha (Figura 15).



Figura 15. Imagen satelital del lote con delimitación del perímetro. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

IV.2 Caracterización climática

El clima es templado. La temperatura media anual es de 14,3°C. Enero es el mes más cálido con una temperatura media de 22,6°C y julio el mes más frío con una temperatura media de 6,8°C. El número promedio de heladas anuales es 52. La fecha media de primera helada meteorológica es el 15 abril y la de última helada el 11 noviembre, siendo de 152 días el período libre de heladas (Gob. Buenos Aires, Chacra Experimental Coronel Suárez, s/f). Las menores precipitaciones ocurren en junio, arrojando un promedio de 27 mm. Mientras que noviembre experimenta la mayor cantidad de precipitaciones, con un valor medio de 97 mm. El promedio anual ronda los 814 mm (Figura 16).

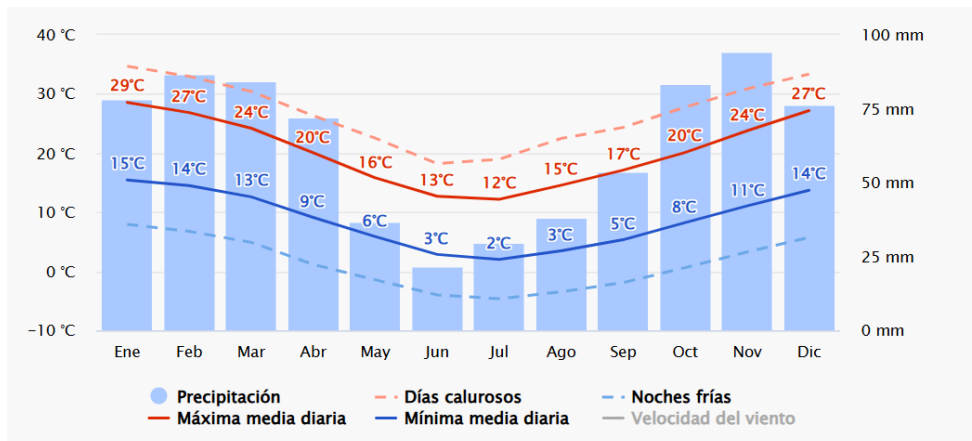


Figura 16. Temperaturas y precipitaciones mensuales promedio del partido de Cnel. Suárez en los últimos 30 años. Fuente: (Meteoblue, s/f)

IV.3 Implementación de Soluciones Agronómicas en Campo

Para el lote en estudio, el cliente solicitó un análisis integral del suelo que incluyó dos componentes clave:

1. Muestreo de suelos con su posterior análisis químico (este servicio es provisto por un laboratorio externo a Navarro SA).
2. Penetrometría, con el propósito de identificar las posibles capas limitantes del terreno.

La profundidad de la tosca y la resistencia a la penetración del suelo son dos propiedades físicas fundamentales que determinan el desarrollo radicular de los cultivos y, en consecuencia, influyen directamente en la productividad agrícola. Ambas variables condicionan la exploración del perfil por parte de las raíces y la disponibilidad de agua y nutrientes a lo largo del ciclo del cultivo.

La tosca —denominada también horizonte cementado o calcáreo— actúa como una limitante física cuando se encuentra a escasa profundidad, ya que restringe la expansión de las raíces hacia estratos más profundos. Una tosca superficial (por ejemplo, a menos de 50 cm) reduce el volumen efectivo de suelo explorado por las plantas, limitando su capacidad de acceder a reservas de humedad y nutrientes durante períodos de déficit hídrico. En cambio, una mayor profundidad de tosca permite un desarrollo radicular más profundo y un mejor aprovechamiento del perfil, contribuyendo a la estabilidad del cultivo frente a condiciones de estrés.

Por otro lado, la resistencia mecánica del suelo a la penetración de las raíces, comúnmente medida con un penetrómetro refleja el grado de compactación del suelo y su capacidad para permitir el crecimiento radicular. Valores elevados de resistencia (superiores a 2 MPa, dependiendo del cultivo) pueden dificultar o incluso impedir la elongación de las raíces, provocando un crecimiento superficial y una distribución desigual de la biomasa radicular. Este fenómeno genera plantas más susceptibles al estrés hídrico y con menor eficiencia en la absorción de nutrientes.

Ambos factores, profundidad de la tosca y resistencia a la penetración, suelen estar interrelacionados y varían espacialmente dentro de un mismo lote, generando ambientes con distinto potencial productivo. Por ello, su caracterización espacial mediante técnicas de muestreo a campo y análisis geoespacial (como interpolaciones y mapas de ambientación) resulta esencial para el manejo sitio-específico.

Comprender y cuantificar estas limitantes permite implementar estrategias de manejo diferencial, tales como la regulación de densidades de siembra, la selección de cultivos o híbridos más adaptados, y la planificación de labores de descompactación o enmiendas. De esta manera, la evaluación conjunta de la profundidad de la tosca y la resistencia a la penetración constituye una herramienta clave para optimizar el uso del suelo, mejorar la sustentabilidad productiva y maximizar la eficiencia de los sistemas agrícolas.

Como punto de partida, es fundamental disponer de un archivo .kmz o .kml que delimite con precisión el área de trabajo e indique su ubicación exacta.

Con este archivo cargado en la plataforma Auravant, podemos visualizar imágenes satelitales del lote, medir el NDVI de cultivos anteriores (Figura 17) y evaluar la necesidad de realizar una ambientación, permitiendo un manejo diferenciado de cada zona.

Además, la plataforma facilita la diagramación de los puntos de muestreo, lo que sirve como referencia precisa durante las labores de campo



Figura 17. NDVI del lote (01/03/2024) tomado de Auravant. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Combinando imágenes de NDVI de varias fechas (tomadas según el cultivo antecesor o varios cultivos antecesores) generamos una ambientación para analizar si es conveniente realizar el muestreo por separado.

En este caso es un lote muy homogéneo y el análisis de NDVI nos muestra que la división del lote es innecesaria ya que el resultado nos indica que solo un ambiente abarca el 98,4% de la superficie total del lote (Figura 18).



Figura 18. Ambientación del lote creada con Auravant. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

El siguiente paso es cargar el polígono del lote en la app PIQUE (Figura 19).



Figura 19. Polígono del lote cargado en la app PIQUE. Fuente: (PIQUE, 2024)

Una vez que ya tenemos creado el trabajo en PIQUE nos permite llegar al lote y ver la ubicación en la que nos encontramos y tomamos cada muestra. Los datos obtenidos por el penetrómetro en cada punto son representados en un gráfico, el cual se puede ver al instante, y en una planilla que es la que luego descargamos con los resultados y la que nos permite trabajarlo en QGIS para generar la ambientación.



Figura 20. Polígono del lote con el diagrama de muestreo. Fuente: (PIQUE, 2024)

Cada punto en el mapa es donde tomamos una muestra, en este caso se tomó una muestra de suelo de 0-20 cm para analizar nitrógeno, fósforo y pH y otra de 20-60 cm para analizar nitrógeno. Con el penetrómetro analizamos los primeros 80 cm del perfil y nos devuelve el valor de resistencia a la penetración en Mpa de cada cm analizado.

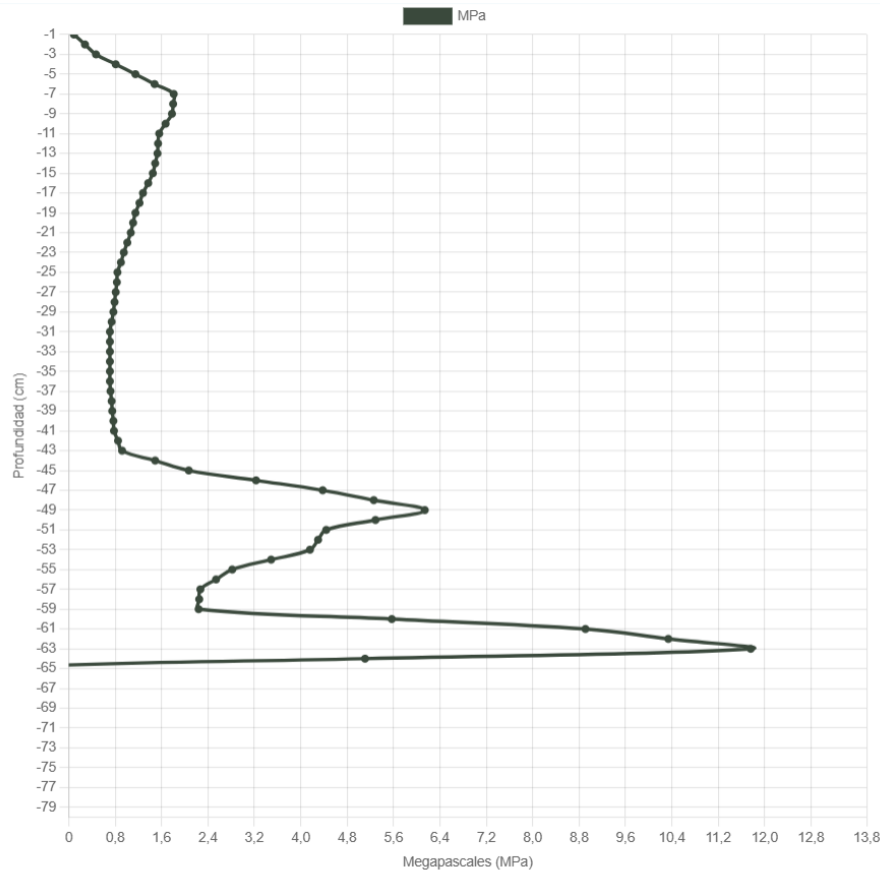


Figura 21. Gráfico de un punto de muestreo, donde nos indica la resistencia en Mpa en el eje x y la profundidad en cm en el eje y. Fuente: (PIQUE, 2024)

Teniendo los datos de cada punto de muestreo dentro de la app, la descargamos en la computadora para poder trabajarla luego en excel y se toma el valor más alto de resistencia, el que sería el limitante. Se realizan cuatro mapas, uno de 0 a 15 cm, de 15 a 30 cm, de 30 a 45 cm y de 45 a 80 cm o más. Para cada profundidad se elige el valor máximo de resistencia a la penetración, el cual será el más limitante y así se clasifica el sector en verde (resistencia a la penetración menor a 2 Mpa, que indica que no existe limitación para el crecimiento de las raíces), amarillo (resistencia a la penetración 2 a 2,5 Mpa, que indica una leve restricción para el crecimiento de las raíces) o rojo (mayor a 2,5 Mpa, severa limitación para el crecimiento de las raíces).

Proceso de ambientación en QGIS: Se carga la tabla que descargamos de PIQUE como archivo de texto .csv, la misma contiene las coordenadas de cada punto y la profundidad a la que se encuentra la limitante. Estos datos se cargaron en QGIS mediante la herramienta “Añadir capa de texto delimitado”, asignando el sistema de coordenadas correspondiente (WGS84 / UTM). Posteriormente, se

realizó una interpolación espacial para generar una superficie continua que representara la variación de la profundidad de tosca en todo el lote. Para ello se empleó el algoritmo de Interpolación IDW (Inverse Distance Weighting), el cual estima los valores de cada celda del ráster en función de los puntos muestreados y su distancia al punto interpolado, asignando mayor peso a los valores más cercanos. El resultado de la interpolación se exportó como un ráster de profundidad de tosca, el cual fue posteriormente recortado utilizando el polígono del lote como máscara, con el fin de delimitar el área de análisis exclusivamente dentro de sus límites.

A partir del mapa resultante se procede a la clasificación de la resistencia a la penetración en diferentes rangos representando los diferentes ambientes del lote. Se definieron 3 categorías principales:

- Resistencia a la penetración entre 0 y 2 Mpa.
- Resistencia a la penetración entre 2 y 2,5 Mpa.
- Resistencia a la penetración mayor a 2,5 Mpa.

Esta clasificación se realizó mediante la herramienta de simbología del raster en QGIS, utilizando el método de intervalos iguales. Posteriormente, el raster clasificado se convirtió a formato vectorial (polígonos) para facilitar la delimitación y análisis espacial de cada ambiente. Finalmente, las geometrías fueron suavizadas y filtradas para eliminar polígonos menores no representativos, generando un mapa de ambientes homogéneo y más agradable a la vista. Este producto constituye una base fundamental para la planificación del manejo diferencial del lote y la posterior elaboración de prescripciones de aplicación variable de insumos, en función de la profundidad efectiva del suelo y las limitantes físicas asociadas a la presencia de tosca.



Figura 22. Ambientación según penetrometría 0-15 cm del lote estudiado. Fuente: (Elaboración propia, 2025)



Figura 23. Ambientación según penetrometría 15-30 cm del lote estudiado. Fuente: (Elaboración propia)



Figura 24. Ambientación según penetrometría 30-45 cm del lote estudiado. Fuente: (Elaboración propia, 2025)



Figura 25. Ambientación según penetrometría 45-80 cm del lote estudiado. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

De esta manera en formato PDF son entregados para vista al cliente aunque también si se desea se envían los archivos shape para poder utilizarlo como

capa para generar una ambientación, que es la utilidad más importante que se le puede dar.

Muestreo de suelo: En cada punto de muestreo se tomó una muestra simple con el calador hidráulico y fueron depositadas en bolsas separadas, en una bolsa la muestra de 0-20 cm y en la otra la de 20-60 cm. La suma de todas las muestras simples conformó la muestra compuesta con el total de puntos de muestreo del lote y fueron almacenadas en las condiciones adecuadas de humedad y temperatura para luego ser enviadas a analizar al laboratorio.

En este caso se tomó solo una muestra compuesta para todo el lote ya que como se mencionó anteriormente no se justificaba la ambientación del mismo.



Figura 26. Toma de muestras con el calador hidráulico Tornomar CH200. Fuente: (Elaboración propia, 2025)

Los parámetros analizados y los métodos fueron los siguientes:

- N-NO₃: Método electrodo del Ion selectivo.
- P: En base al método de Bray 1.
- pH: En base a relación 1:2.5 (suelo;agua).

Los resultados obtenidos fueron:

Lote/ Profundidad	Superficie (has)	N-NO3 (kg/ha)	N disp. (kg/ha)	P (ppm)	pH
Lote 1 0-20cm	24	14	14	7,4	6,5
Lote 1 20-60cm	24	15,1	15,1		

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se le brinda al cliente una recomendación agronómica conociendo el cultivo a sembrar, por ejemplo:

Cultivo: Cebada

Rinde esperado: 4000 kg

Requerimiento: 25 kg de N / Tn de grano

N disponible: 14 kg de N / ha

N a aplicar: $\text{Requerimiento} / \text{Tn} \times \text{Rinde esperado} - \text{N disp}$

N a aplicar: $25 \text{ kg/ha} \times 4 \text{ Tn} - 14 \text{ kg/ha} = 86 \text{ kg N/ha}$

Luego el cliente decide si es esa la cantidad que va a aplicar, el momento y que tipo de fertilizante. También puede decidir si utilizar el mapa de penetrometría para realizar una aplicación variable tratando de ahorrar insumos en las partes menos productivas del lote o a su vez agregarle alguna otra capa que tenga de ese lote como por ejemplo un mapa de rendimiento para así poder realizar una ambientación más compleja.

Todos estos trabajos buscan lograr una mayor eficiencia y brindar un asesoramiento al productor que le sirva a la hora de decidir sobre el manejo de sus cultivos.

V. Mirada desde la triple dimensión

El manejo eficiente y sustentable del suelo requiere ser comprendido como un recurso vivo y limitado, cuya conservación es esencial para sostener la producción

en el tiempo. En este contexto, la incorporación de herramientas como el análisis de penetrometría, análisis químico de suelos y la aplicación variable de insumos permiten abordar la gestión del suelo desde una perspectiva integral, considerando las dimensiones económicas, ambientales y sociales.

Desde la parte económica, se logra optimizar el uso de los recursos y reducir costos innecesarios. El análisis de penetrometría permite identificar zonas compactadas o con limitaciones físicas, evitando labores y aplicaciones uniformes que no responden a la variabilidad real del lote. Por ejemplo, estudios en Argentina han señalado que la compactación del suelo —detectable mediante medición de resistencia a la penetración— puede reducir los rindes en hasta un 15 % en sistemas agrícolas (Conexión rural, S/F). Por otro lado, el análisis químico del suelo determina la disponibilidad de nutrientes y orienta la fertilización de acuerdo con las necesidades reales del cultivo. Cuando esta información se integra en sistemas de aplicación variable, los insumos se distribuyen de manera diferenciada, aplicando más donde es necesario y menos donde no lo es. Esto se traduce en mayor eficiencia económica, mejor retorno de la inversión y uso racional de los insumos agrícolas.

Desde la dimensión ambiental, estas prácticas contribuyen directamente a la sustentabilidad de la producción. El análisis de penetrometría permite planificar estrategias para mejorar la estructura del suelo y reducir la erosión. El análisis químico junto con la aplicación variable permite minimizar las pérdidas de nutrientes por escurrimiento y lixiviación evitando la contaminación de aguas y suelos. Todo en conjunto contribuye a reducir la huella ambiental de la producción, favoreciendo la preservación de los recursos y la reducción del impacto en el medio ambiente a causa de la agricultura.

Finalmente, desde la dimensión social, el empleo de estas tecnologías promueve un modelo de producción más responsable y consciente. El uso de nuevos métodos de producción fomenta la capacitación y las nuevas oportunidades para el empleo de herramientas tecnológicas en el medio rural. Además, el manejo sustentable del suelo garantiza la conservación del recurso para las nuevas generaciones, contribuyendo a la seguridad alimentaria de la población.

VI. Consideraciones finales

La experiencia desarrollada dentro de la pasantía laboral en la empresa *Navarro S.A. - John Deere* permitió conocer en primera persona como es el funcionamiento y las actividades que se llevan a cabo diariamente en una empresa agropecuaria, aplicando los conocimientos adquiridos en la universidad.

En lo que respecta al trabajo realizado, permitió comprender de manera integral la relevancia de las herramientas tecnológicas aplicadas al manejo del suelo y los cultivos y se logró valorar la importancia del procesamiento e interpretación de la información agronómica como base para la toma de decisiones eficientes y sustentables.

Conocer nuevas herramientas como el penetrómetro Tornomar CH200 para realizar trabajos de análisis de suelos que facilitan la obtención de muestras y obtención de datos, las plataformas digitales como Auravant que nos permiten obtener información precisa de una forma más ágil y también programas como Qgis que nos ayudan a realizar el procesamiento de los datos obtenidos y la confección de mapas, ambientaciones y prescripciones.

La pasantía me permitió constatar que la sostenibilidad del sistema agropecuario depende de la integración equilibrada entre la productividad, la conservación ambiental y el compromiso social. La incorporación de prácticas como la penetrometría, los análisis de suelo y la aplicación variable de insumos representa no solo un avance tecnológico, sino también un paso hacia un modelo de agricultura más inteligente, eficiente y responsable. Este enfoque reafirma el rol central del profesional agrónomo en la gestión y análisis de la información, contribuyendo a la construcción de sistemas productivos más resilientes, sostenibles y competitivos.

VIII. Bibliografía

Historia de John Deere. Disponible en: <https://www.deere.com.ar/es/nuestra-compa%C3%B1%C3%ADa/historia/>

Meteoblue, información climática de Cnel. Suarez. Disponible en: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/coronel-su%C3%A1rez_argentina_3860164

Historia de Navarro SA. Disponible en: https://www.navarrosa.com.ar/content/about_us

Villarroe, D., Scaramuzza, F. y Melchiori, R. (2021) Agricultura de Precisión – EEA INTA Manfredi – EEA INTA Paraná. <https://inta.gob.ar/documentos/estimacion-de-la-evolucion-en-la-adopcion-de-componentes-de-agricultura-de-precision-de-cara-al-inicio-de-una-decada-de-agricultura-digitalizada>

Revista Conexión Rural. “La compactación de los suelos se lleva hasta 15% de los rindes”. https://www.conexionrural.com.ar/la-compactacion-de-los-suelos-se-lleva-hasta-15-de-los-rindes/?utm_source

Matías Marote (2010) “Agricultura de Precisión”. Tecnología Agropecuaria Universidad Nacional de Palermo. https://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2012/cyt/numero10/10N_ISEU_CyT10.pdf

Agroecología Tornos (2018) “Agricultura de precisión, la revolución silenciosa en el sector agrícola”. <https://www.agroecologiatornos.com/agricultura-precision-revolucion-silenciosa-sector-agricola/>