

PRODUCCION

INTELECTUAL 03

Análisis de salud de los cultivos, sensores y fotogrametría

Fecha 06.2022

Título del proyecto: Formación e implementación de la agricultura de precisión

Código del proyecto : 2020-1-EL01-KA226-VET-094682

Acrónimo del proyecto: SATI



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union





Prólogo

Las designaciones empleadas y la presentación del material en este producto informativo no implican la expresión de ninguna opinión por parte del proyecto sobre el estado legal o de desarrollo de ningún país, territorio, ciudad o área o de sus autoridades. La posible mención de empresas o productos de fabricantes específicos, estén o no patentados, no implica que estos hayan sido respaldados o recomendados por la asociación de este proyecto con preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan. Las opiniones expresadas en este producto informativo son las del autor o autores y no reflejan necesariamente las opiniones de los socios. Salvo que se indique lo contrario, el material puede copiarse, descargarse e imprimirse con fines de estudio, investigación y enseñanza privados, o para su uso en productos o servicios no comerciales, siempre que se reconozca debidamente al proyecto como fuente y titular de los derechos de autor y que el respaldo de la asociación a las opiniones, productos o servicios de los usuarios no está implícito de ninguna manera.

© 2021

2

Descripción de la producción intelectual

La agricultura de precisión (PA) es un enfoque de gestión integral de la explotación que utiliza tecnología de la información, datos de posicionamiento satelital (GNSS), detección remota y recopilación de datos proximales (doi:

10.2861/587580). Este proyecto pretende proporcionar una plataforma de formación completa en los retos más avanzados de la agricultura. Los temas fueron elegidos de acuerdo a los retos más urgentes para agrónomos, especialistas en seguros agrarios y agricultores. Temas como Fotogrametría, Exploración de Campo, Análisis de Salud de Cultivos y Sensores y el uso de Sistemas Aéreos No Tripulados (UAS) son descritos y analizados como teoría y casos prácticos de manera simplificada para introducir a especialistas y no solo, a las nuevas tendencias y políticas en el sector de las ciencias ambientales y la agricultura.

Este resultado presentará los diferentes tipos de sensores utilizados en la agricultura y los procedimientos para desarrollar un mapa de un campo, así como el monitoreo del clima y otros parámetros físicos a distancia. Es un proceso central considerando que un operador de finca puede utilizar esta tecnología para tomar sus decisiones. Este curso está dirigido a agricultores y agrónomos, donde aprenderán los fundamentos del uso de un UAS con el sensor adecuado para estimar la salud de su cultivo y medir elementos como el estrés hídrico y la estimación del rendimiento.

El módulo introductorio de este curso será la fisiología vegetal y la fotosíntesis para principiantes. El módulo será comprensible incluso para personas que no sean agrónomos o biólogos y se centrará en dar varias pinceladas en varias disciplinas. El propósito es dirigir el curso a operadores sin antecedentes científicos, por ejemplo, agricultores, pero en esta etapa es importante proporcionar un material de capacitación comprensible para los participantes. Para profundizar en el estudio, habrá material adicional disponible para lectores avanzados. Así, dirigimos el material a un público amplio y a diferentes grupos objetivo.

Además, en este resultado se hará una provisión especial para presentar el material de manera simplificada teniendo en cuenta que existe una base cognitiva ampliada entre los alumnos. Se espera que sea el resultado más popular debido a la concienciación existente entre los posibles alumnos. Se describirán las especificaciones de los diferentes sensores y los antecedentes científicos.

Para el uso de estos sensores se presentarán y se analizarán los estándares así como casos de estudio/ejemplos de los sensores más comerciales. El mapeo es el alcance final del curso. La asociación presentará y utilizará como casos de estudio mapas reales de campos experimentales seguidos de datos reales obtenidos después de la cosecha. Así, habrá una presentación paralela de los medios "tradicionales" para recolectar datos y la forma innovadora propuesta por este proyecto. El aprendiz tendrá la oportunidad de comprender dónde está la innovación y cuáles son las ventajas derivadas para el operador agrícola o el asesor agrícola, que será el usuario final de la tecnología.

3 Con respecto a la fotogrametría El primer capítulo del curso será una descripción general de los 35 años de historia de la teledetección en la agricultura, la evolución desde la baja resolución espacial y temporal de las imágenes satelitales y la fotogrametría aérea hasta tecnologías más avanzadas y los conceptos detrás de las ideas de su uso en la agricultura. . El segundo módulo se centrará en las tecnologías actuales de extracción de información de sensores aerotransportados y espaciales y la aplicación de la información en la agricultura de precisión. Aplicaciones basadas en cámaras multispectrales, RGB y térmicas aerotransportadas y sistemas LiDAR y sensores ópticos y de radar aerotransportados, que incluyen: monitoreo de salud de cultivos, estimación de biomasa y rendimiento, zonas de manejo, detección de enfermedades, conteo de plantas, etc. Uso de métodos fotogramétricos para generar reconstrucción 3D de arquitectura del terreno o del dosel.

Se analizarán funcionalidades. El material brindará una educación única a los aprendices de diferentes antecedentes (desde agricultores hasta usuarios avanzados) en términos de lo que existe en el mercado y cómo se puede utilizar. El tercer módulo tendrá como objetivo preparar a los alumnos para el futuro de la recopilación de datos y el suministro de información de forma remota. Se discutirá la tendencia de las sinergias entre datos satelitales con alta resolución temporal y espectral con datos de alta resolución espacial de drones y sistemas de sensores basados en campo. Se abordará el poder de tecnologías como la fusión de datos, métodos de Inteligencia Artificial e trabajos en línea. Este módulo se creará en un futuro para dar a conocerlo a todo tipo de usuarios finales de la próxima generación de agricultores de precisión.

Además, los fundamentos del uso de UAV e imágenes satelitales, fotogrametría como usuarios finales, ya que esto es parte de otra producción intelectual y está más dirigido a los alumnos con experiencia en ciencias agrícolas.

- Teledetección y uso en la producción de índices de vegetación (por ejemplo, NDVI).

- Los alumnos también aprenderán a "leer" mapas producidos por drones, así como a preparar un mapa y justificar la diversidad en un campo. Después del curso, los alumnos estarán en posición de comparar mapas, concluir la evolución de su finca e identificar posibles amenazas en sus campos y estimar el rendimiento potencial.

Idiomas: Ingles, Griego, Español y Turco

Tipo: Curso / curso de piloto curricular/ módulo

Fecha de inicio: (dd-mm-aaaa) 01-03-2021

Fecha final : (dd-mm-aaaa) 30-06-2022

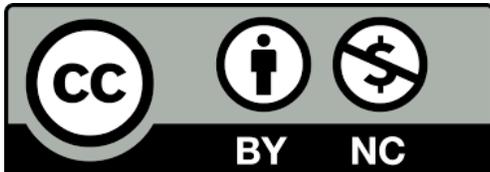
Version: 1.1

Colofón

El contenido de este curso está basado en los siguientes recursos:

- Los materiales de aprendizaje han sido desarrollados por expertos del instituto europeo para la evolución y la integración.
- El material está disponible en los enlaces oficiales facilitados por la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA)
- El material de capacitación ha sido desarrollado para el correcto funcionamiento de este proyecto
- El material de investigación ha sido producido a partir de investigaciones pasadas y presentes del Instituto Europeo para la Evolución y la Integración en el campo de la agricultura de precisión.
- Las referencias están descritas en la sección “Estudios Adicionales” de este curso.

Hemos hecho todo lo posible para acreditar las ilustraciones y los textos utilizados, por favor, contáctenos (info@mkv-consulting.com) si su nombre ha sido omitido sin darnos cuenta.



El material del curso está disponible en base a una licencia genérica de Creative commons (Creative Commons Attribution-Noncommercial 2.0)

Metodología

La producción del Curso / curso de piloto curricular/ módulo recopilará datos de fuentes oficiales de cada país participante y se presentarán casos recientes.
Los copartícipes contribuirán por igual a la producción.

Los enlaces oficiales a las autoridades competentes y la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA) que presentan datos que se actualizan periódicamente, son útiles para incluirlos. El resultado será actualizado periódicamente y solo se deben utilizar datos oficiales, de recursos oficiales. También se puede encontrar mucha información oficial en Publicaciones de la UE. En caso de que se requiera un permiso por escrito para la adquisición de datos, considere obtenerlo. No use datos sin permiso y no obtenga datos de manera extraoficial. Siempre haga una referencia adecuada a la fuente de su información, incluso si no es oficial.

Para fines administrativos y técnicos intente recabar la información referente a los contenidos anteriormente descritos. En caso de existir información adicional, informe al Beneficiario y a la Organización principal de este Producto antes de preparar el material. Es importante que todos los socios tengan el mismo formato.

Introducción

1. Introducción a la agricultura de precisión (PA)

1.1. Definición de PA

2. La agricultura de precisión (AP) es la gestión de la variabilidad espacial y temporal en el uso de insumos agrícolas para aumentar los rendimientos económicos y reducir los impactos ambientales. El proceso que comenzó con PA ha llevado a procesos de agricultura inteligente con la característica de estar conectado desde cualquier lugar hoy en día, donde las técnicas de comunicación inalámbrica se han desarrollado considerablemente como una continuación de la agricultura de precisión. Como la estructura del suelo varía de una región a otra provocando una variabilidad espacial, ninguna tierra tiene una estructura homogénea incluso dentro de sí misma. Cuando se examina cuidadosamente un área de producción, se puede observar fácilmente que las plantas se desarrollan de manera diferente dentro del campo. Entonces, ¿qué es lo que crea estas diferencias dentro de un mismo campo. La razón de estas diferencias es la física, estructura química y biológica del suelo que puede cambiar en cada hectárea o incluso en cada metro cuadrado. El uso de sensores y herramientas de megafonía ha dado como resultado una mayor eficiencia y una reducción de los costos y ha proporcionado herramientas para la toma de decisiones que impulsan la productividad agrícola.

PA utiliza tecnologías nacidas de la era de la información para crear recomendaciones específicas del sitio que toman en cuenta la variación natural e inducida por el manejo. Es importante señalar que las tecnologías de AP no reemplazan el papel esencial del agricultor en el proceso de decisión. Las ideas centrales detrás de PA consisten en mejores decisiones de gestión, mayores rendimientos y menores impactos agrícolas. La PA a menudo se define por las tecnologías, como GPS (Sistema de posicionamiento global), GIS (Sistemas de información geográfica), dirección automática de fotogrametría y detección remota (RS), monitores de rendimiento y fertilizantes de tasa variable. Por importantes que sean estas tecnologías, es necesario reflexionar para darse cuenta de que el proceso humano de toma de decisiones es un ingrediente clave para el éxito de las AP (Fulton, 2018; Griffin et al., 2018).

Las fases de una implementación exitosa de AP se muestran en la Figura 1. La primera consiste en recopilar la mayor cantidad de datos posible sobre el cultivo, el suelo, el terreno y el medio ambiente. El resultado de esta etapa son los datos que se procesarán durante la etapa de extracción de información. Una vez que los datos se convierten en información, es hora de tomar decisiones de gestión. El resultado de esta etapa son las prescripciones que se implementarán en la última etapa. Las flechas alrededor del ciclo son posibles entradas requeridas en cada etapa. Cuando la información y las recetas se muestran en forma de mapas y el ciclo tarda varios días en completarse, es el caso de las denominadas AP basadas en mapas. Es independiente de comprender qué tipos de información permitirán una mejor toma de decisiones y encontrar formas rentables de recopilar información espacialmente referenciada y usarla para mejorar las decisiones sobre el uso y la gestión de la tierra dentro de partes particulares de una cuenca o áreas dentro de una finca. En la Figura 2 se muestran algunos pasos generalizados en la adopción de AP para diferentes objetivos de gestión.



Figura 1. Las fases de una implementación exitosa en la agricultura de precisión (www.newaginternational.com)

Objetivos	Cómo se pueden utilizar las herramientas y técnicas de PA
1 Optimizar la gestión media de los cultivos y aumentar la eficiencia agrícola	Ubicación y registro de GPS para la exploración de cultivos y el muestreo del suelo, y la experimentación simple en el potrero (por ejemplo, nuevas variedades o pesticidas). Guiado del vehículo y dirección automática para aumentar la eficiencia (p. ej., superposición reducida), establecer sistemas de tráfico controlado o lecho elevado, sembrar entre hileras, fumigación protegida, etc.
2 Determinar la ubicación y la magnitud de la variabilidad espacial y estacional	GPS vinculado a monitores de cantidad/calidad de rendimiento y sensores de suelo, y datos georreferenciados de detección remota, utilizados para desarrollar mapas de variabilidad. Elaboración de mapas de margen bruto en base a rendimiento y calidad. Los mapas se pueden comparar entre temporadas y cultivos para identificar áreas de margen o rendimiento relativo estable
3 Determinar las causas de la variabilidad espacial y la respuesta de gestión óptima	Combinar varias temporadas de capas de datos de AP para identificar los posibles factores causales, seguido de una investigación de campo específica (p. ej., muestreo del perfil del suelo) para confirmar. Usar datos climáticos con modelos financieros y de cultivos para probar respuestas de manejo alternativas (p. ej., evitar, reducir insumos, cultivar cultivos tolerantes o mejorar)
4 Optimizar la entrada de producción: la relación de salida para la cantidad y calidad del grano. Maximizar el margen bruto y minimizar la huella ambiental	Usar capas de datos de PA para delinear zonas de manejo a escala de potrero o granja, y utilizarlas para tomar decisiones de cultivo basadas (por ejemplo, tipo y variedad) y preparar mapas de aplicación de entrada para VRT usando controladores de tasa variable. Usar monitores de rendimiento y análisis financiero para verificar los resultados y respaldar una mayor gestión adaptativa
4 Mejorar el control de calidad del grano y la comercialización del producto.	Usar GPS con monitores de calidad de grano y herramientas de segregación para cumplir con los requisitos de calidad y lograr primas de precio. El etiquetado electrónico de información de las operaciones de campo y las cargas de granos, y la descarga en los sistemas de gestión ambiental, proporciona datos para respaldar la comercialización y el control/garantía de calidad.



5 Aumentar la experimentación/ensayos en finca	Usar mapas de PA para diseñar ensayos en finca, con GPS para permitir un diseño preciso y monitores de rendimiento para registrar los resultados
--	--

Figura 2 Pasos generalizados en la adopción de AP para diferentes objetivos de gestión (Leonard y Philip, 2006)

Tecnologías para la Agricultura de Precisión

Para recopilar y utilizar la información de manera efectiva, es importante que cualquiera que esté considerando la agricultura de precisión esté familiarizado con las herramientas tecnológicas modernas disponibles. La amplia gama de herramientas incluye hardware, software y las mejores prácticas de gestión. Estos se describen brevemente en los siguientes párrafos.

Receptores del sistema de posicionamiento global (GPS): Los satélites del Sistema de Posicionamiento Global transmiten señales que permiten a los receptores GPS calcular su ubicación. Esta información se proporciona en tiempo real, lo que significa que se proporciona información de posición continua mientras está en movimiento. Tener información de ubicación precisa en cualquier momento permite mapear las mediciones de suelos y cultivos. Los receptores GPS, ya sea llevados al campo o montados en implementos, permiten a los usuarios regresar a lugares específicos para tratar esas áreas.

Monitoreo y mapeo de rendimiento: los monitores de rendimiento de grano miden y registran continuamente el flujo de grano en una cosechadora. Cuando se vinculan con un receptor GPS, los monitores de rendimiento pueden proporcionar los datos necesarios para los mapas de rendimiento. Las mediciones de rendimiento son esenciales para tomar decisiones de manejo acertadas. Sin embargo, el suelo, el paisaje y otros factores ambientales también deben sopesarse al interpretar un mapa de rendimiento. La información de rendimiento proporciona información importante para determinar los efectos de los insumos gestionados, como enmiendas de fertilizantes, semillas, pesticidas, incluida la labranza y el riego. Dado que las mediciones de rendimiento de un solo año pueden verse fuertemente influenciadas por el clima, siempre es recomendable examinar los datos de rendimiento de varios años.

Sensores remotos: La teledetección es la recopilación de datos a distancia. Los sensores de datos pueden ser simplemente dispositivos portátiles, montados en aviones o basados en satélites. Los datos de detección remota proporcionan una herramienta para evaluar la salud de los cultivos. El estrés de las plantas relacionado con la humedad, los nutrientes, la compactación, las enfermedades de los cultivos y otros problemas de salud de las plantas a menudo se detectan fácilmente en las imágenes aéreas. Las cámaras electrónicas también pueden grabar imágenes en el infrarrojo cercano que están altamente correlacionadas con el tejido vegetal saludable. Los nuevos sensores de imagen con alta resolución espectral están aumentando la información recopilada de los satélites. La teledetección puede revelar la variabilidad de la temporada que afecta el rendimiento del cultivo y puede ser lo suficientemente oportuna para tomar decisiones de manejo que mejoren la rentabilidad del cultivo actual. Las imágenes de sensores remotos pueden ayudar a determinar la ubicación y el alcance del estrés de los cultivos. El análisis de tales imágenes utilizadas junto con la exploración puede ayudar a determinar la causa de ciertos

6

componentes del estrés de los cultivos. Luego, las imágenes se pueden usar para desarrollar e implementar un plan de tratamiento localizado que optimice el uso de productos químicos agrícolas.

Sistemas de información geográfica (SIG): Los sistemas de información geográfica (SIG) son hardware y software de computadora que utilizan atributos de características y datos de ubicación para producir mapas. Una función importante de un SIG agrícola es almacenar capas de información, como rendimientos, mapas de estudio de suelos, datos de sensores remotos, informes de exploración de cultivos y niveles de nutrientes del suelo. Los datos referenciados geográficamente se pueden mostrar en el GIS, agregando una perspectiva visual para la interpretación. Además del almacenamiento y visualización de datos, se puede utilizar para evaluar la gestión alternativa mediante la combinación de capas de datos para producir un análisis de escenarios de gestión.

Gestión de la información: La adopción de AP requiere el desarrollo conjunto de habilidades de gestión y bases de datos de información pertinentes. El uso efectivo de la información requiere que el agricultor tenga una idea clara de los objetivos del negocio y la información crucial necesaria para tomar decisiones. La gestión eficaz de la información requiere más que herramientas de análisis de mantenimiento de registros o un SIG.

1.1.1 Variabilidad espacial y temporal

La condición que impulsa la adopción de la agricultura de precisión es la variabilidad. La variabilidad se puede separar en componentes espaciales y temporales. La variabilidad espacial es la variación en el cultivo, el suelo y las características ambientales a lo largo de la distancia y la profundidad. La variabilidad temporal es la variación en el cultivo, el suelo y las características ambientales a lo largo del tiempo. La variabilidad se puede ver en el rendimiento, la fertilidad del suelo, el contenido de humedad, la textura del suelo, la topografía, el vigor de la planta y las poblaciones de plagas.

PA tiene como objetivo mejorar la capacidad de un productor para manejar la variabilidad del campo. PA proporciona a los profesionales herramientas para cuantificar la variabilidad del suelo, el terreno y los cultivos y, por lo tanto, personalizar las prácticas agronómicas y ajustar las aplicaciones de recursos para que coincidan mejor con estas variables. La variabilidad puede ser tanto espacial como temporal.

Variabilidad espacial: es la variación que se encuentra en las propiedades del suelo, el terreno y los cultivos en un área en un momento dado. Por ejemplo, el pH del suelo y el rendimiento de los cultivos.

Variabilidad temporal: es la variación encontrada en las propiedades del suelo y del cultivo dentro de un campo en diferentes mediciones en el tiempo. Por ejemplo, la diferencia en los mapas de rendimiento de una temporada a la siguiente.

Dentro de la iniciativa de AP se consideran cuatro etapas amplias en el desarrollo de AP:

La etapa 1 se trata de reconocer que se está produciendo una variabilidad significativa en el rendimiento y la ganancia dentro de un campo, y determinar si las zonas de rendimiento son estables o inestables entre años (temporadas). Esta etapa generalmente se basa en el propio conocimiento de los productores sobre la parcela, las imágenes de biomasa y el rendimiento.

La etapa 2 se trata de identificar las causas subyacentes de la variabilidad del rendimiento. Estos incluyen la profundidad del suelo, el tipo de suelo y la capacidad de retención de agua, los nutrientes, la elevación, la salinidad del subsuelo, la compactación, la presencia de plagas y enfermedades o la influencia del manejo anterior (p. ej., cercas antiguas, hileras y tipo de cultivo anterior).

Esta etapa requiere la comparación de mapas de zonas de rendimiento con otros datos mapeados para la parcela, por ejemplo, de pruebas de suelo, estudios de inducción electromagnética (EM o EMI) o radiometría gamma, pruebas de enfermedades, fotografías aéreas o datos de contorno, seguidos de una inspección de campo. y ensayos para garantizar que se han determinado los factores causales correctos. Al final de esta etapa, los productores deben conocer las principales causas subyacentes de la variabilidad del rendimiento y si es práctico mejorarlas directamente (p. ej., desgarrar, corregir la deficiencia de nutrientes, cal) o cambiar el manejo (p. ej., uso de variedades de cultivos tolerantes). , reduciendo los aportes de fertilizantes en áreas que no responden y aumentándolos donde hay una buena respuesta de rendimiento).

La etapa 3 se trata de preguntar '¿importa?

En otras palabras, conociendo la escala de variación del rendimiento (etapa 1) y las causas subyacentes y las posibles soluciones (etapa 2), ¿vale la pena hacer algo al respecto? En esta etapa, se utilizan la experiencia del productor/asesor y los modelos de cultivo para evaluar el posible impacto en el rendimiento en diferentes condiciones estacionales y entre diferentes cultivos. Al combinar los resultados con el análisis financiero, los productores pueden determinar si es económicamente sensato abordar la variabilidad del rendimiento utilizando PA.

Hay muchos factores que contribuyen a la variabilidad espacial y temporal dentro de un campo. Algunos de estos factores pueden incluir:

Atributos del suelo y terreno: pH del suelo, textura, estructura y profundidad, materia orgánica del suelo, agua del suelo, química del suelo y restricciones del subsuelo. Algunas características relacionadas con el suelo, como la textura del suelo, son muy estables y cambian muy poco con el tiempo. Otras características, como los niveles de nitrato, el contenido de humedad del suelo y el contenido de materia orgánica del suelo pueden contener cantidades sustanciales de variabilidad espacial y temporal. El terreno se puede evaluar mediante la recopilación de datos de elevación GNSS que se pueden usar para generar una variedad de derivados de elevación, como la pendiente, el aspecto y el índice de humedad.

Prácticas de manejo: Prácticas de cultivo (p. ej., agricultura de tráfico controlado) e historial de gestión (p. ej., dirección estratégica de la agricultura, rotación de cultivos).

Factores medioambientales: Clima, malas hierbas, insectos y enfermedades.

La AP implica la recolección de muestras de suelo y cultivos para obtener información sobre esta variabilidad. La variabilidad influye en muchas decisiones, incluido qué, cómo y cuándo muestrear. Los métodos de muestreo difieren en términos del gasto en la recolección de muestras y en el análisis de muestras. Los requisitos de frecuencia de muestreo pueden afectar la forma en que el agricultor administra el dinero, la mano de obra y el tiempo. Para saber cuál es la variabilidad atribuida al suelo, se requiere el muestreo y mapeo de suelos. Hay muchas estrategias para muestrear suelos. Además del muestreo sistemático de suelo en cuadrícula, el



muestreo dirigido es una buena práctica y se realiza de acuerdo con áreas que podrían haberse definido previamente con la ayuda de mapas de rendimiento. Hay que encontrar un equilibrio entre un número representativo de muestras y su coste. Una alternativa que gana aceptación es el uso de sensores de suelo sobre la marcha.

La conductividad eléctrica (CE) es la propiedad del suelo más comúnmente medida. Su interés radica en que la CE suele estar bien correlacionada con las propiedades del suelo, como la textura (arcilla), el contenido de humedad o la salinidad. Dado que estas propiedades afectan el potencial de rendimiento, la información proporcionada por los sensores del suelo se puede mostrar en forma de mapas EC adecuados para delinear áreas que requieren diferentes prácticas de manejo. Además, la superposición de mapas de rendimiento y EC proporciona una mejor comprensión de lo que está sucediendo en el campo y qué causas de la variabilidad espacial pueden determinarse. Los datos adicionales se obtienen mediante el uso de sensores remotos.

La magnitud de estos factores influirá en el grado de variabilidad dentro del campo y la viabilidad de gestionar esa variabilidad.

Mapa de rendimiento de trigo que muestra la variabilidad espacial del rendimiento con el histograma adjunto de estos datos. Una de las formas de comenzar a implementar PA es a través de mapas de rendimiento. El mapeo de rendimiento ahora es factible para muchos cultivos, es decir, cereales, cultivos forrajeros, viñedos y algunos cultivos hortícolas. Los agricultores pueden recopilar datos de rendimiento en el momento de la cosecha y utilizarlos para crear mapas de rendimiento como una herramienta para analizar la variabilidad espacial de sus parcelas. Existe una variedad de software para la creación y visualización de mapas, siendo los Sistemas de Información Geográfica (GIS) o programas basados en GIS una opción interesante para almacenar y procesar los datos de rendimiento adquiridos. Una vez que se obtienen los mapas de rendimiento, los agricultores y los asesores deben convertir esa información en decisiones de gestión para hacer frente a la variabilidad espacial y temporal de sus cultivos. El patrón de variación del rendimiento es crítico en esta etapa. Cuando este patrón está bien estructurado, se pueden definir diferentes áreas dentro de la parcela para estrategias de manejo específicas. Sin embargo, es necesario conocer las causas de tal variabilidad para tomar la mejor decisión de manejo antes de realizar cualquier acción. Los mapas de rendimiento muestran el efecto de una serie de parámetros que afectan el rendimiento del cultivo junto con las consecuencias de la gestión del agricultor.

Algunos insumos de producción de cultivos se pueden variar según los mapas generados a partir de datos de muestreo recopilados meses o incluso años antes de la aplicación. La piedra caliza aplicada para abordar la variabilidad del pH del suelo es un ejemplo de tal entrada. Sin embargo, otros insumos como la fertilización con N son una función de la mineralización del N que depende de la temperatura del suelo y el contenido de humedad que varía rápidamente. Si una característica del suelo cambia rápidamente, es lógico utilizar equipos que detecten y respondan a esta variabilidad en "tiempo real". Los enfoques de manejo de campo completo ignoran la variabilidad en las características relacionadas con el suelo y buscan hacer aplicaciones de insumos de producción de cultivos de manera uniforme. De hecho, no hace mucho tiempo, los agricultores consideraban que los controladores de aplicación que les permitían mantener tasas de aplicación constantes en todo el campo eran "de última generación".

Gestión de la variabilidad:

Identificar y medir la variabilidad y cuantificar la variabilidad tanto a escala espacial como temporal. Investigar la causa de la variabilidad. Evaluar estrategias para optimizar la gestión de

la variabilidad.

Combine y compare capas de datos cuando corresponda. Por ejemplo:

- Evaluar la **variabilidad temporal** de un campo comparando los datos de rendimiento durante varios años; y,
- Examine la **variabilidad espacial** de un campo comparando las derivadas de elevación adecuadas con los datos de rendimiento para determinar el impacto del terreno en el rendimiento.

En general, es más instructivo comparar los datos de rendimiento de la misma temporada de crecimiento (es decir, mapas de rendimiento de invierno con otros mapas de rendimiento de invierno y mapas de rendimiento de verano con otros mapas de rendimiento de verano). La variabilidad estacional puede tener un efecto subsidiario en cultivos consecutivos.

Evaluar críticamente las prácticas agronómicas:

- ¿Se pueden reducir las presiones de malezas, enfermedades y plagas con estrategias de manejo alternativas?
- ¿Están los objetivos de rendimiento y calidad en consonancia con los insumos actuales de fertilizantes?

Identificar el motivo de la variabilidad observada permitirá considerar las opciones de gestión adecuadas. Estas opciones serán específicas para los recursos y objetivos del individuo y deben sopesarse frente a cualquier consideración ambiental. La economía es uno de los factores más importantes que afectan la transición del manejo de cultivos de todo el campo al manejo específico del sitio.

La AP puede afectar tanto los costos de los insumos como los ingresos por producción de cultivos al:

- Aumento de los rendimientos con el mismo nivel de insumos, simplemente redistribuidos
- Dirigir los insumos a donde se necesitan
- Mejora de la calidad de los cultivos

Alcanzar estas metas requiere que el agricultor identifique metas y estrategias apropiadas.

Las preguntas serias que los agricultores deben responder antes de adoptar la agricultura de precisión incluyen:

- ¿Cómo varían espacial y temporalmente las características de los cultivos, el suelo y el medio ambiente?
- ¿Esta variación afecta el rendimiento y/o la calidad del cultivo?
- ¿Se puede gestionar de manera rentable esta variabilidad?
- ¿Cuáles son los objetivos a corto y largo plazo?
- ¿Tengo los recursos para implementar PA?

1.1.2. Aplicaciones: cultivos de hortalizas, cultivos herbáceos, viticultura (estudios de casos)

Fusión de datos y aplicación de tasa variable en campo de maíz irrigado en Turquía (Estudio de caso)

- La cosechadora (New Holland, CX840) con sistema de mapeo de rendimiento se utilizó desde 2006 hasta 2016.
- El muestreo de suelo se llevó a cabo a una distancia de muestreo de 50 m con GNSS.
- El muestreo de plantas se realizó de acuerdo con la georreferenciación.
- EC (Conductividad eléctrica) EMI - 38 Se realizó escaneo y se crearon mapas de ECa en diferentes temporadas de cultivo.
- Imágenes de teledetección (Astel) tomadas en 2007,2008,2009
- Se realizó adaptación de VRT a la maquinaria fertilizante de producción nacional

En este estudio se realizaron aplicaciones de fertilizantes nitrogenados y fosforados a dosis variable. Mientras se llevaban a cabo estos estudios, las aplicaciones se iniciaron después de que se reservó un área de 27 hectáreas para un estudio comparativo de aplicaciones simultáneas de los agricultores y aplicaciones de tasa variable después de estudios de reconocimiento y muestreo del suelo en esta área. Se aplicaron al área de estudio mapas de aplicación de fósforo elaborados a partir de los resultados de los análisis obtenidos de las muestras de suelo tomadas mediante la técnica de muestreo en cuadrícula (Figura 3). Surgieron 5 dosis de aplicación diferentes en el área de estudio (el azul oscuro es insignificante). En los bloques experimentales creados en el estudio, se modificó con actuadores eléctricos y se utilizó junto con los sistemas de control de la sembradora con almacenamiento de fertilizante (Figura 4). En el momento de la siembra, la dosis de fertilizante queda en la zona de color de la sembradora. Dos dosis principales de aplicación variable ganaron peso en el estudio (Figura 3). En las áreas reservadas para el agricultor, el agricultor hizo libremente su propia práctica. No se intervino en estas áreas. Se utilizó fertilizante triple super fosfatado como fuente de fertilizante fosforado en la fertilización. Como resultado de las aplicaciones de fósforo de tasa variable, la cantidad de fertilizante de fósforo aplicado al área de aplicación se realizó con un 40 % menos de fertilizante en comparación con las aplicaciones de los agricultores. Para la aplicación basada en sensores, se montó un sensor próximo multispectral en un tractor para determinar el estado del N del cultivo de maíz, ya que varía en el campo midiendo la reflectancia de las copas de los cultivos en un campo de maíz de aproximadamente 40 ha en la región de Çukurova. N-Sensor está montado en el tractor a una altura de 2,8 metros y detecta diferencias en la reflectancia de la luz del ancho de banda seleccionado, convirtiendo los valores obtenidos que se correlacionan con la biomasa del cultivo o la densidad de clorofila del cultivo en una tasa de aplicación óptima que permite aplicar el equipo de aplicación de tasa variable la tasa requerida para esa parte específica del campo (Figura 2). Para determinar el nivel óptimo de N, se crearon seis niveles diferentes de parcelas de aplicación de N en parcelas de prueba de 500 m de largo y 18 hileras de ancho en el campo. Cada parcela ha sido escaneada por sensor y cosechada por separado con una cosechadora que implementó un sistema de mapeo de rendimiento y GNSS. Se encontró que el nivel económico óptimo de N era de aproximadamente 310 kg/ha para este campo (Türker y Güçdemir, 2018). convertir los valores obtenidos que se correlacionan con la biomasa del cultivo o la densidad de clorofila del cultivo en una tasa de aplicación óptima que permite que el equipo de aplicación de tasa variable aplique la tasa requerida para esa parte específica del campo (Figura 2). Para determinar el nivel óptimo de N, se crearon seis niveles diferentes de parcelas de aplicación de N en parcelas de prueba de 500 m de largo y 18 hileras de ancho en el campo. Cada parcela ha sido escaneada por sensor y cosechada por separado con una cosechadora que implementó un sistema de mapeo de rendimiento y GNSS. Se encontró que el nivel económico óptimo de N era de aproximadamente 310 kg/ha para este campo (Türker y Güçdemir, 2018). convertir los valores obtenidos que se correlacionan con la biomasa del cultivo o la densidad de clorofila del cultivo en una tasa de aplicación óptima que permite que el equipo de aplicación de tasa variable aplique la tasa requerida para esa parte específica del campo (Figura 2). Para determinar el nivel óptimo de N, se crearon seis niveles diferentes de parcelas de aplicación de N en parcelas de prueba de 500 m de

14

largo y 18 hileras de ancho en el campo. Cada parcela ha sido escaneada por sensor y cosechada por separado con una cosechadora que implementó un sistema de mapeo de rendimiento y GNSS. Se encontró que el nivel económico óptimo de N era de aproximadamente 310 kg/ha para este campo (Türker y Güçdemir, 2018). Cada parcela ha sido escaneada por sensor y cosechada por separado con una cosechadora que implementó un sistema de mapeo de rendimiento y GNSS. Se encontró que el nivel económico óptimo de N era de aproximadamente 310 kg/ha para este campo (Türker y Güçdemir, 2018). Cada parcela ha sido escaneada por sensor y cosechada por separado con una cosechadora que implementó un sistema de mapeo de rendimiento y GNSS. Se encontró que el nivel económico óptimo de N era de aproximadamente 310 kg/ha para este campo (Türker y Güçdemir, 2018).

El campo tiene tres niveles de manejo (producción) diferentes según los mapas de suelos y rendimientos anteriores. Para igualar las condiciones, un sensor próximo se conectó a un esparcidor de fertilizante de hileras de dosis variable modificado. Esta unidad modificada se usó luego para aplicar la tarifa variable N de acuerdo con la demanda real en modo en línea, en tiempo real. En el primer año del estudio, se ha ahorrado un 20% de N sin pérdida de rendimiento. Esta aplicación permitió al agricultor tener un crecimiento y un rendimiento más uniformes en el primer año.



Figura 3. Esparcidor de fertilizante utilizado con aplicación basada en mapas y adaptado con actuadores lineales y aplicación de fertilizante nitrogenado basado en sensores en el campo de maíz (Türker y Güçdemir, 2018).

Además, para extraer mapas de rendimiento en este estudio, se utilizó una cosechadora de granos modelo New Holland CX840.

Las estadísticas descriptivas relacionadas con el resultado del análisis del suelo se resumen en la Tabla 1. Todos los análisis relacionados con la disponibilidad de nutrientes, los niveles de suficiencia y su coeficiente de variación en el área de estudio se dieron en la tabla. Se determinó que el potasio y otros nutrientes eran suficientes en gran parte del campo. Para N y P, las aplicaciones de fertilizantes de tasa variable se planificaron para aplicarse únicamente a nitrógeno y fósforo. Se aplicó otro micronutriente de las hojas.

Tabla 1: Estadísticas descriptivas y CV (Türker y Güçdemir, 2018).

Nutrientes vegetales	Signifi car	míni mo	máx. ar	estánd ar	CV (%)	Nivel de variabilidad	Rango de valor crítico
Nitrógeno total (%)	0,1	0,03	0,15	0,025	23,1	Medio	< 1
Fósforo (P ₂ O ₅) (kg/da)	2,9	0,4	29	1,88	65,6	Alto	< 6
Potasio (K ₂ O) (kg/da)	72,9	11	134	27,5	37,7	Alto	< 30

Lima (%)	26,2	23	29	1,17	4,5	Bajo	1-15
Hierro (Fe) (ppm)	14,3	4,85	35,9	6,13	42,8	Alto	< 4,5
Boro (B) (ppm)	1,3	0,38	2,35	0,43	33,9	Alto	< 0,2
Zinc (Zn) (ppm)	0,5	0,07	6	0,96	175	Alto	< 0,7
Manganeso (Mn) (ppm)	4,7	0,49	10,8	2,34	50	Alto	< 1

Diseño de experimentos para determinar la tasa óptima de nitrógeno

Para determinar la dosis óptima de nitrógeno en este campo a través de la relación entre la absorción de nitrógeno y el rendimiento, se utilizaron seis niveles de nitrógeno (0, 7,5, 15, 22,5, 30, 37,5 kg/ha), incluida la dosis de aplicación de los agricultores (35 kg/ha). Se realizaron en 18 surcos y 5,5 hectáreas en cada franja. Se cosecharon 16 hileras intermedias y se evaluaron los resultados.

De acuerdo con los mapas de rendimiento del área de estudio, existen tres zonas diferentes con diferentes potenciales de rendimiento. Por lo tanto, teniendo en cuenta estos diversos potenciales y la importancia de usar diferentes dosis de fertilizante nitrogenado debido a las diferencias en la reflectancia de la luz y los índices de biomasa, la dosis de nitrógeno debe aumentarse o disminuirse. Entonces, en los siguientes dos años, con el fin de comparar la aplicación de nitrógeno convencional y de tasa variable, se organizó un experimento con un diseño de bloques completos al azar en cuatro tratamientos y nueve repeticiones con un área de aproximadamente 27 ha (Figura 4).

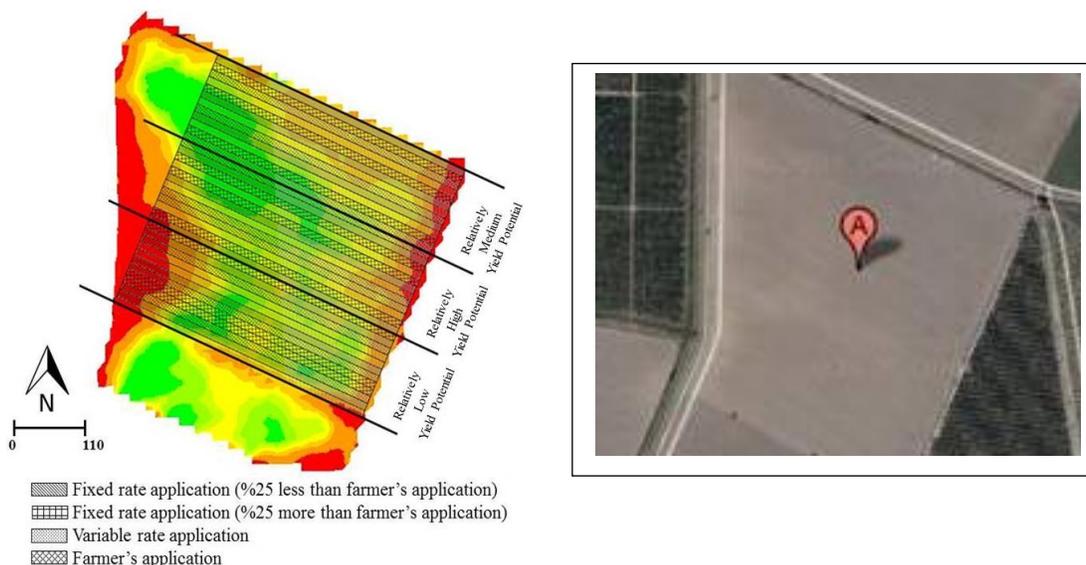


Figura 4. Diseño experimental aplicado e imagen de Google. (Nota: cada bloque tiene 150 de ancho y 500 de largo y contiene 18 hileras de maíz). (Güçdemir y Türker, 2010).

Debido a la existencia de tres zonas de manejo diferentes, se usaron 4 dosis de fertilizante y nueve repeticiones para aplicar todas las dosis de nitrógeno en estas zonas (Figura 3). Para alcanzar resultados confiables, se incrementó el número de repeticiones cuando se diseñaron bloques experimentales. Considerando que cerca del 75 por ciento del fertilizante nitrogenado se usó como fertilizante nitrogenado de mitad de temporada, se aplicó una pequeña cantidad de nitrógeno (70 kg/ha) uniformemente en todas las franjas.

Mapeo de rendimiento antes de las aplicaciones de tasa variable

16 Para evitar el uso excesivo de fertilizantes en áreas de bajo rendimiento y subfertilizar áreas de alto rendimiento, combinar el mapeo de rendimiento y las pruebas de suelo podría reducir la cantidad de fertilizantes innecesarios. Con el objetivo de identificar el potencial de rendimiento en el área de estudio, se cosechó el área durante la primera semana de septiembre de 2010, mientras se continuaba con las operaciones agrícolas típicas. El mapa de rendimiento relacionado con el año 2010 que se muestra en la Figura 5 se preparó utilizando el software New Holland PLM. La variación espacial en el rendimiento se puede entender con una investigación del mapa y la tabla relacionada con el rendimiento. Con base en el resultado del monitoreo del rendimiento, el rendimiento promedio se registró en 12,6 t/ha. Para el monitoreo del rendimiento, la cosechadora equipada con sistemas de registro y medición recolectó un total de 36186 datos y se usaron 933 datos/ha para producir un mapa de rendimiento. Al analizar las diferentes zonas de rendimiento que se muestran en la figura 5, se puede deducir que el 57 % del campo total tiene valores de rendimiento relativamente altos, mientras que el 26 % y el 17 % del campo tienen valores de rendimiento relativamente medios y bajos, respectivamente. Se ha registrado una variabilidad similar en los mapas de rendimiento para los años consecutivos (Figura 6). Se observó un patrón similar durante la medición y mapeo de EC en el campo (Figura 7). Imagen satelital del campo de la derecha (Astel) y Detección próxima del estado de la biomasa. Para tales condiciones se realizó la correspondiente Aplicación de Nitrógeno en Tiempo Real que se puede apreciar en la Figura 8. Se ha registrado una variabilidad similar en los mapas de rendimiento para los años consecutivos (Figura 6). Se observó un patrón similar durante la medición y mapeo de EC en el campo (Figura 7). Imagen satelital del campo de la derecha (Astel) y Detección próxima del estado de la biomasa. Para tales condiciones se realizó la correspondiente Aplicación de Nitrógeno en Tiempo Real que se puede apreciar en la Figura 8. Se ha registrado una variabilidad similar en los mapas de rendimiento para los años consecutivos (Figura 6). Se observó un patrón similar durante la medición y mapeo de EC en el campo (Figura 7). Imagen satelital del campo de la derecha (Astel) y Detección próxima del estado de la biomasa. Para tales condiciones se realizó la correspondiente Aplicación de Nitrógeno en Tiempo Real que se puede apreciar en la Figura 8.

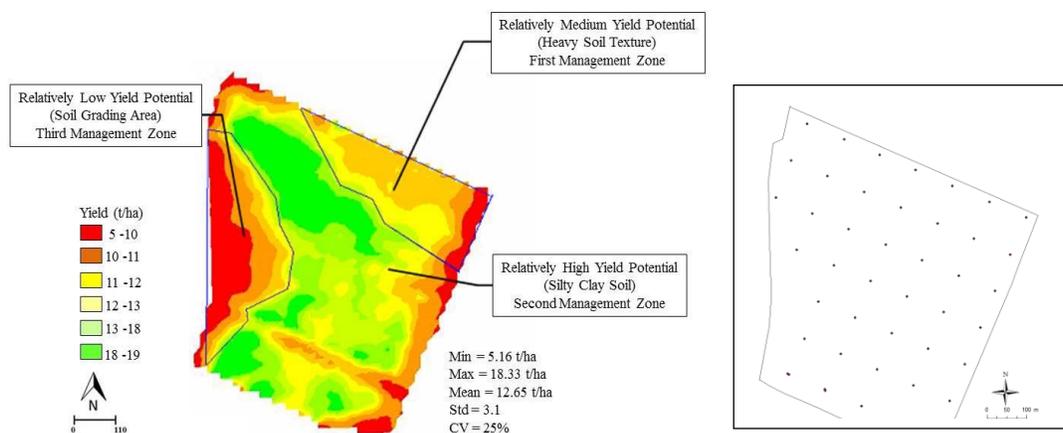


Figura 5. Mapa de rendimiento del área de estudio, puntos de muestreo de suelo y zonas con diferente potencial de rendimiento (Adana, Turquía) (Güçdemir y Türker, 2010).

17

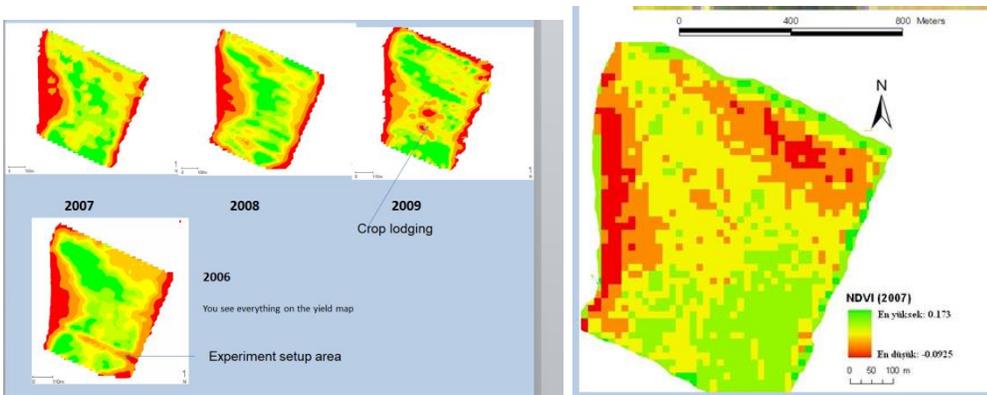


Figura 6. Mapas de rendimiento en diferentes años y NDVI (Güçdemir y Türker, 2011)

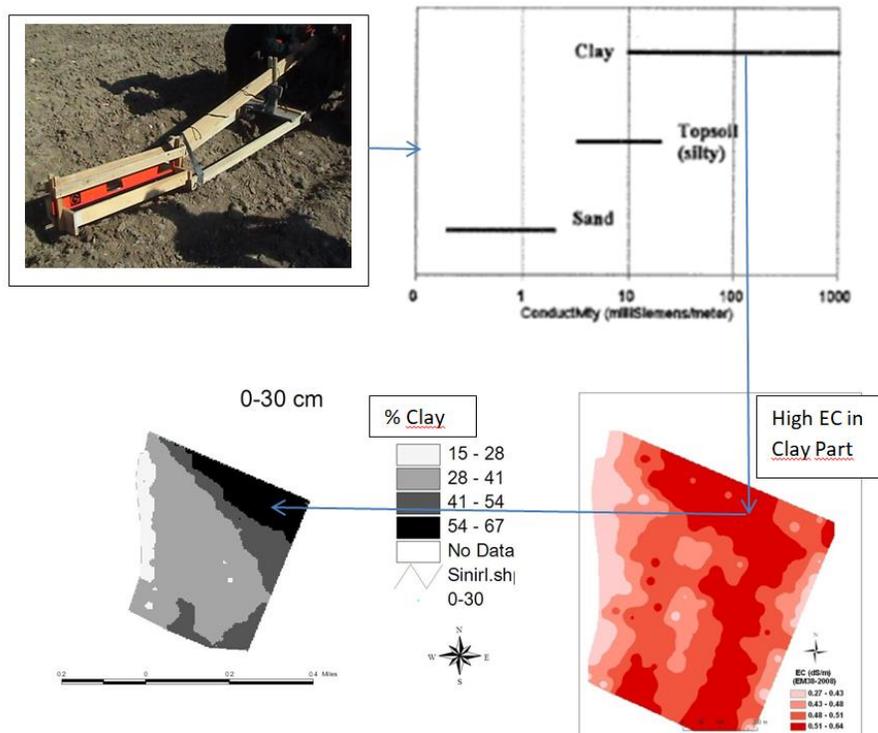


Figura 7. Mapeo revelador de EC del suelo y mapa de arcilla del suelo del campo (Güçdemir y Türker, 2010)

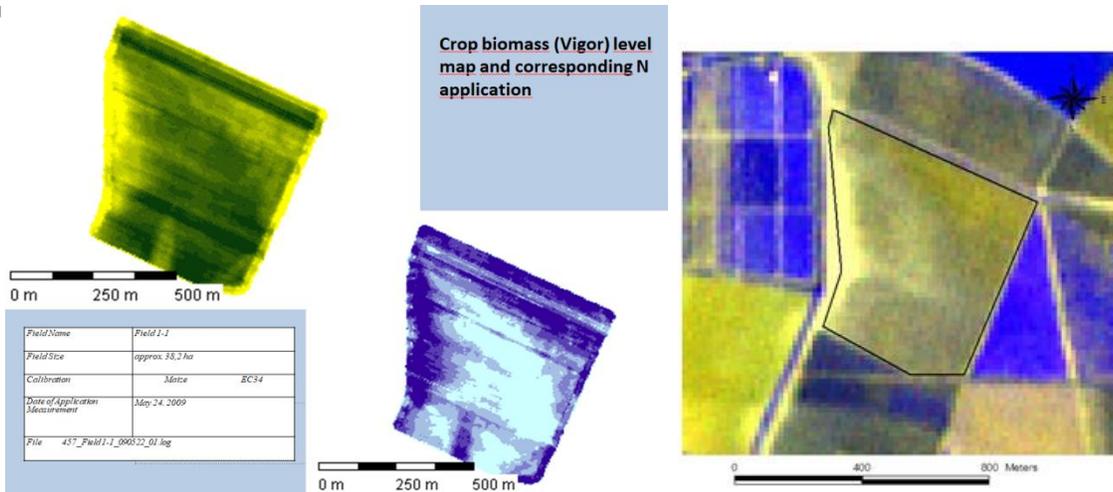


Figura 8. Imagen satelital del campo de la derecha (Astel) y detección próxima del estado de la biomasa y aplicación de nitrógeno en tiempo real correspondiente (Türker y Güçdemir, 2018)

Resultados: Las diferencias entre los rendimientos medios obtenidos de diferentes aplicaciones se han probado mediante análisis de varianza. El resultado del análisis mostró que las diferencias entre los valores medios de rendimiento se determinaron como significativas ($P=0,039$). Por lo tanto, se puede decir que el uso de diferentes tratamientos en la aplicación de nitrógeno generó diferencias significativas en términos de valores de rendimiento. La agrupación de Duncan para el rendimiento medio ($P = 0,05$) identificó claramente diferentes grupos entre las aplicaciones basadas en sensores y las del agricultor y otras dos aplicaciones (Figura 9). Mediante el uso de esta evaluación realizada entre rendimientos, las aplicaciones basadas en sensores cobraron protagonismo, mientras que las demás aplicaciones se quedaron atrás.

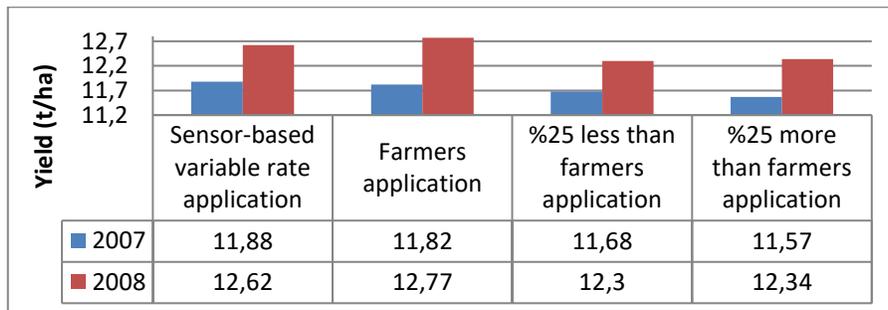


Figura 9. Comparación de la aplicación de N basada en sensores versus las aplicaciones clásicas de agricultores.

3. Avances y oportunidades de implementación de AP

3.1. Muestreo y adquisición de datos

La cuantificación de la variación se puede obtener a través del muestreo. La densidad de muestreo depende de varios factores (objetivos, variabilidad del campo, costos) y puede variar desde una muestra para varias hectáreas hasta una cobertura más detallada del campo. Se obtienen muestras de campos completos o partes de campos para proporcionar valores promedio. Hay varios métodos de muestreo de uso común que se caracterizan por un muestreo destructivo (Figura 9):

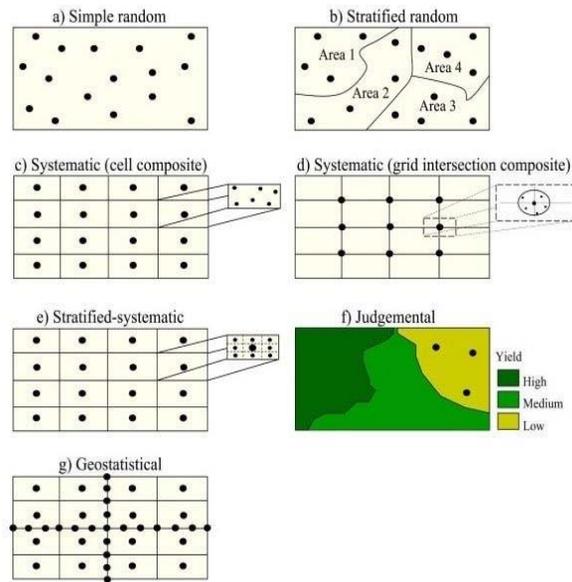
- Aleatorio simple: las ubicaciones se seleccionan al azar y es posible que no capturen la estructura de variación de los atributos de interés (Figura 10a).

- Aleatorio estratificado: el campo se divide en varias áreas de acuerdo con sus características (p. ej., topografía), y los lugares de muestreo se seleccionan al azar y luego se combinan, lo que reduce la influencia de la heterogeneidad local (Figura 10b).
- Sistemático (muestreo en cuadrícula): el campo se divide en cuadrículas y las muestras se recolectan aleatoriamente dentro de cada celda y luego se combinan (Figura 10c).
- Otro enfoque es colocar el punto central en las intersecciones de la cuadrícula, donde las muestras se recolectan aleatoriamente dentro de un radio de 3 m y luego se combinan (Figura 10d).
- Estratificado-sistemático: Cada celda se divide en celdas más pequeñas para tratar de superar el sesgo introducido por el muestreo sistemático (Figura 10e).
- Criterio: Las ubicaciones de muestreo se deciden en función de la observación de un problema específico (p. ej., bajo rendimiento) y no son estadísticamente precisas (Figura 10f).

La recolección de muestras implica mano de obra intensiva y costos de análisis de laboratorio, lo que impone una limitación en el número de muestras que se pueden recolectar para cuantificar el error experimental entre las repeticiones de los tratamientos. Sin embargo, reducir el número de muestras tiene implicaciones directas en la gestión, ya que puede conducir a decisiones incorrectas. El requisito de mejorar la eficiencia ha aumentado el interés en realizar experimentos de campo que tengan en cuenta la variabilidad espacial y reproduzcan mejores escenarios para granjas reales. El GPS permite la recopilación de datos georreferenciados, mientras que el GIS permite el análisis espacial y la visualización de mapas interpolados. A nivel de finca, las unidades experimentales han sido campos individuales con manejo uniforme sin repeticiones. Sin embargo,

Las tecnologías y los métodos de análisis han cambiado las estrategias para el muestreo de datos, como se muestra en la Figura 3:

- Específico o dirigido: las muestras se recopilan de acuerdo con diseños de muestreo estadísticamente rigurosos. La evidencia de un cambio en el valor de una propiedad medida observada a partir de imágenes aéreas, rendimiento u otros mapas se utiliza luego para determinar ubicaciones complementarias.
- Geoestadística: Se aplica cuando el objetivo es producir mapas kriged interpolados precisos. Cuando se conoce el semivariograma, la distancia entre las ubicaciones de las muestras es igual a la mitad del rango del semivariograma. Pero cuando no se conoce el semivariograma, las muestras se recolectan como en un muestreo sistemático, entonces el semivariograma así como la distancia de muestreo precisa pueden definirse reduciendo el número de muestras (Figura 10g).



Para comprender la variabilidad espacial se necesita una gran cantidad de datos, lo que puede requerir mucho esfuerzo humano para la adquisición de datos. Para hacer frente a este hecho, se han desarrollado muestreadores de suelo móviles automáticos. El muestreo continuo es otra solución emergente, donde cada ubicación en el campo se mide mediante técnicas no invasivas (p. ej., inducción electromagnética, detección remota), y no hay necesidad de interpolación o diseño de muestreo del suelo. Una cantidad considerable de esfuerzo ahora se ha centrado en desarrollar sensores en tiempo real para ayudar en los esquemas de muestreo para la agricultura de precisión. No obstante, el muestreo seguirá siendo útil para fines de calibración, así como para el desarrollo de métodos estadísticos adecuados para el análisis de diferentes tipos de suelos y cultivos.

3.2. Análisis y presentación de datos.

La capacidad de crear mapas que muestren la variabilidad espacial es fundamental para la agricultura de precisión. Los mapas proporcionan un resumen de los datos y ayudan a visualizar la variabilidad espacial dentro de un campo. Todos los datos mapeados deben resumirse gráficamente con un histograma, una tabla de frecuencia que muestra la distribución de datos y muestra los colores representados dentro del mapa. Los histogramas son una herramienta valiosa, que resaltan sesgos o características dentro de los datos que pueden no ser obvios al mirar los datos sin procesar o la capa del mapa. El histograma facilita la creación de un gráfico de colores que sea significativo para los datos. El ajuste de la tabla de colores utilizada para mostrar los datos del mapa puede ilustrar una diferencia que no se destacó en una tabla de colores anterior. No se utiliza un esquema de color estandarizado para mostrar datos espaciales en PA. Los esquemas de color varían de un proveedor de datos o fabricante de software a otro. Por lo tanto, es importante observar el rango de valores asociados con los colores en un gráfico, ya que cada color no siempre reflejará el mismo valor en un mapa diferente. Por ejemplo, aquí se proporciona un esquema de color de rojo a azul y donde el rojo representa el valor de datos mínimo y el azul representa el valor de datos máximo. El siguiente ejemplo (Figura 11) es un mapa EM que muestra el rango de valores EM de 110 a 265. La altura de cada barra de color indica el área total (eje vertical) dentro del campo correspondiente a cada valor EM (eje horizontal). Por ejemplo, aquí se proporciona un esquema de color de rojo a azul y donde el rojo representa el valor de datos mínimo y el azul representa el valor de datos máximo.

21 El siguiente ejemplo (Figura 11) es un mapa EM que muestra el rango de valores EM de 110 a 265. La altura de cada barra de color indica el área total (eje vertical) dentro del campo correspondiente a cada valor EM (eje horizontal). Por ejemplo, aquí se proporciona un esquema de color de rojo a azul y donde el rojo representa el valor de datos mínimo y el azul representa el valor de datos máximo. El siguiente ejemplo (Figura 11) es un mapa EM que muestra el rango de valores EM de 110 a 265. La altura de cada barra de color indica el área total (eje vertical) dentro del campo correspondiente a cada valor EM (eje horizontal).

Es imperativo que las capas del mapa sean lo más precisas posible si se va a confiar en ellas al tomar decisiones de gestión. Algunos conjuntos de datos espaciales, como el rendimiento, requieren procesamiento para eliminar cualquier error y valor atípico del conjunto de datos. Los paquetes GIS que tienen importaciones personalizadas para datos de rendimiento, generalmente ofrecerán algún nivel de filtrado para corregir los datos. El filtrado y la corrección de datos promoverán un conjunto de datos "más limpio" para la creación de mapas.

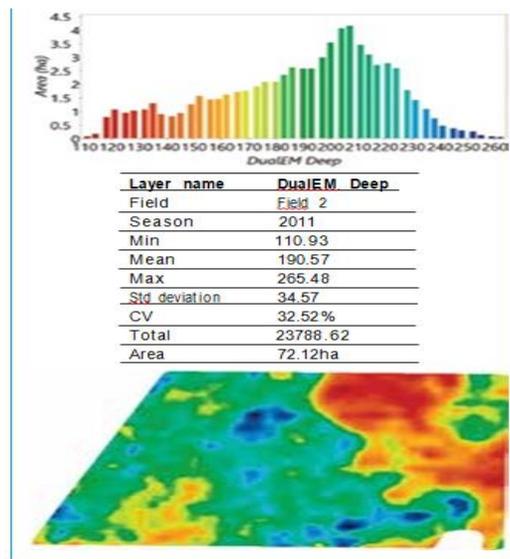


Figura 11. Un ejemplo de datos espaciales que incluye un mapa espacial, estadísticas de capas de datos y un histograma de mapa y gráfico de colores (Sauer et al., 2010).

Interpolación de datos

La interpolación de datos espaciales toma los puntos de datos individuales y los convierte a un formato de cuadrícula. Esta salida de cuadrícula regular se logra estimando valores a partir de los valores circundantes. Los métodos de interpolación comunes que se ofrecen en los paquetes GIS incluyen Kriging, Spline y Peso de distancia inversa. El conocimiento de las estadísticas espaciales es útil al generar capas de mapas de superficie. La salida interpolada de un conjunto de datos dado puede variar significativamente según el modelo empleado. Cada modelo asume una relación entre puntos de datos que pueden o no existir. El método de "suavizado" no debe utilizarse para ocultar errores en un conjunto de datos. Los puntos erróneos deben eliminarse o corregirse antes de realizar cualquier interpolación de datos. La mayoría de los datos de rendimiento son muy variables y una representación cartográfica precisa mostrará muchos máximos y mínimos locales que pueden dificultar la interpretación. Dado que los mapas de rendimiento y otros conjuntos de datos espaciales ayudan a identificar tendencias en un campo, se utilizan técnicas de interpolación para

enmascarar la variación altamente localizada y resaltar las tendencias espaciales. Un paquete GIS debe mostrar estadísticas resumidas básicas para un conjunto de datos. Estos incluyen información de la capa de datos (su nombre, granja, nombre del campo, temporada), valores mínimos, máximos y medios y la desviación estándar.

Usando cálculos estadísticos relativamente simples, el nivel de variabilidad en el campo se puede determinar rápidamente. La desviación estándar describe la dispersión o "dispersión" de los datos en torno a la media o el valor esperado. Cuanto mayor sea la desviación estándar, mayor será la variabilidad de los datos y menos útil será la media como descriptor de un área típica dentro del campo. Otra medida de la variabilidad de los datos es el coeficiente de variación (CV). El CV normaliza la variación en los datos al expresar la desviación estándar como una relación con la media. Cuanto mayor sea el valor de CV, mayor será la variabilidad espacial. CV también se utiliza para comparar la variabilidad entre diferentes conjuntos de datos, por ejemplo, el rendimiento de un año de cultivo al siguiente (Tabla 2).

Tabla 2: Algunos estándares generales para interpretar el nivel de variabilidad y la probabilidad de recuperación de la inversión en VRT (Sauer et al., 2010).

CV Value	General observations
<5%	Generally not enough variability to warrant any action.
>5% <10%	Investigate to assess the economic benefit of managing the variability, particularly in high value crops.
>10% <15%	Sufficient variability to expect to see a financial benefit in managing the variability in most crops.
>15%	Highly suitable for variable rate treatment (VRT) with a high payback expected.

<5% En general no hay suficiente variación para tomar ninguna medida

- 5% < 10% Investigar para evaluar los beneficios económicos de gestionar la variable, de forma particular en los cultivos de alto valor
- 10% < 15 % Suficiente variación para esperar un beneficio financiero gestionando la variabilidad en la mayoría de los cultivos.
- 15% altamente apropiado para un tratamiento del ratio de variación, con unas expectativas muy altas de recuperación de la inversión.

Análisis de los datos

Las técnicas de interpretación pueden variar desde un examen rápido y sencillo hasta un análisis estadístico más riguroso utilizando software GIS. Ambos enfoques tienen su lugar en PA. Las buenas decisiones a menudo se pueden tomar en una fracción del tiempo usando técnicas muy simples. Un enfoque simple para la interpretación de datos puede implicar una comparación visual de

diferentes capas de datos para un campo. Esto facilita la identificación de patrones espaciales a través de una comparación visual lado a lado. Identificar patrones, que se repiten en conjuntos de datos y da confianza para determinar la conclusión. De igual importancia para la identificación de patrones recurrentes, es la identificación de inconsistencias entre las capas de datos. Por ejemplo, varios años de mapas de rendimiento de trigo e imágenes vegetativas similares para un campo pueden ser seguidos por un mapa de rendimiento de trigo que muestre patrones diferentes.

También hay ocasiones en las que se requiere un enfoque más riguroso para el análisis de datos. Las comparaciones estadísticas y las correlaciones espaciales entre las capas de datos pueden revelar relaciones que pueden no ser visualmente obvias. En cualquier interpretación de datos, la participación humana es vital. Es más probable que un productor o consultor que participe activamente en el proceso de análisis consulte sus datos, verifique su integridad e incorpore cualquier conocimiento indígena que posea. La construcción de un SIG para una granja no es un proceso de la noche a la mañana. Aunque puede haber ganancias a corto plazo, como estrategias de muestreo mejoradas utilizando mapas de rendimiento o imágenes aéreas, la recuperación agronómica a largo plazo puede requerir años de recopilación de datos comprometidos. Reconocer patrones espaciales estables y comprender los procesos subyacentes es una recompensa a largo plazo.

Gestión de datos

La gestión eficaz de datos requiere tiempo, dinero, buenas habilidades informáticas, buenas habilidades organizativas y una paciencia infinita. Los datos solo se vuelven útiles una vez que se organizan y analizan. El software GIS puede ayudar en este proceso. Para algunas personas, crear un buen conjunto de datos para su granja es un desafío que están listos para aceptar. Sin embargo, para muchos productores, esta es una tarea desalentadora y desafiante.

Existen varios programas de software comerciales de buena reputación que se pueden emplear para administrar datos espaciales; SMS, PLM, Farmworks, Mapshots y SST. Aunque estos programas pueden leer formatos de archivo genéricos e importar datos sin procesar de muchos fabricantes de hardware, no permiten que los datos se compartan fácilmente entre diferentes plataformas. Además, el costo inicial del paquete, que puede parecer grande, en realidad será solo una pequeña parte de la inversión total. El costo de adquirir y procesar datos eclipsará rápidamente los costos iniciales de software y hardware. Para muchos productores, mantener su propio GIS puede no ser factible. Estos productores pueden beneficiarse de los servicios especializados de un administrador de datos. La aparición de servicios de análisis de datos puede eliminar la carga de las personas para administrar sus propios datos y liberará recursos (como el tiempo), que podrían asignarse de manera más eficaz. Los administradores de datos especializados ofrecen un conjunto de servicios y presentarán los datos espaciales y cualquier análisis en un formato preciso y utilizable. Los aportes de los productores serán la clave para una interpretación exitosa de los datos. Cuanto más familiarizado esté el administrador de datos con la operación agrícola diaria, mejor.

Hay una variedad de formatos de archivo de datos en PA. Un 'formato' de archivo describe la forma en que los datos se almacenan dentro de un archivo de computadora. Algunos formatos producen archivos de menor tamaño (cantidad de bytes) para que puedan transferirse fácilmente de forma inalámbrica o por Internet. Otros formatos pueden producir archivos de mayor tamaño (más bytes) que están optimizados para un acceso más rápido a los datos dentro de los programas de software. Los tipos de archivos con estructuras abiertas y bien conocidas que pueden ser utilizados por muchos paquetes de software diferentes se conocen como formatos genéricos. Los archivos genéricos se ajustarán a un estándar conocido y se pueden abrir en software comúnmente disponible, como editores gráficos, editores de texto u hojas de cálculo. Estos incluyen archivos de variables separadas por comas (*.csv), archivos jpg y tif. También hay formatos de archivo de datos espaciales genéricos (vector y raster) que son utilizados por el software GIS. Estos incluyen archivos

de forma, GeoTIFF y GeoJPG y archivos KML. Otro grupo de formatos de archivo en PA se conoce como formatos propietarios. Estos generalmente son generados por una pieza específica de equipo (o marca de equipo) como un monitor de rendimiento. Los archivos propietarios a menudo contienen grandes volúmenes de datos y se almacenan en un formato compacto que solo se puede usar con productos de software seleccionados.

Como herramienta de gestión, la agricultura de precisión consta de cuatro elementos: posicionamiento geográfico (GPS), recopilación de información y apoyo a la decisión y tratamiento a tasa variable. El mapeo de rendimiento podría considerarse como un quinto componente, en el que el mapeo de rendimiento permite al agricultor monitorear el resultado real de diferentes insumos (Pedersen, 2004).

Sin embargo, el mapeo de rendimiento también es una herramienta que permite recopilar información sobre años anteriores de rendimiento en el campo, que puede usarse como apoyo a la decisión para diseñar la próxima estrategia de insumos.

3.3. Informes, trazabilidad y retroalimentación de los agricultores

También brinda la capacidad de revisar registros para determinar la ubicación precisa y el historial del producto en la cadena de suministro de alimentos (Opara, 2003). En cuanto a la definición de trazabilidad en el campo de la seguridad e inocuidad de los alimentos, se puede afirmar que la trazabilidad es la capacidad de documentar todos los elementos relevantes necesarios para determinar la historia de vida de un producto, tales como movimientos, procesos y controles. Por lo tanto, la trazabilidad es una herramienta para una gestión mejor y más eficaz para los fabricantes de alimentos, los agricultores y los usuarios finales en términos de calidad de los alimentos.

Además de la capacidad de la trazabilidad para rastrear o retirar productos de forma rápida y sencilla durante una crisis, existen informes sobre los beneficios de utilizar la trazabilidad que se mencionan a continuación:

- Mejora la eficiencia de la producción y disminuye los requisitos de mano de obra
- Mejora el control de inventario, verifica las afirmaciones de los productos y mejora la seguridad alimentaria

A pesar de los problemas de implementación, mantenimiento y operación de los sistemas de trazabilidad relacionados con el personal, los clientes, los proveedores, los consultores y el software, los beneficios de utilizar estos sistemas superan los problemas y costos mencionados, lo que puede ser una razón adecuada para el desarrollo de sistemas de trazabilidad (Sparling et al., 2006). PA puede brindar oportunidades para rastrear los productos a través de un sistema. Estas oportunidades incluyen el proceso que describe todas las prácticas que se han realizado para producir el producto final. En consecuencia, la capacidad de seguimiento y trazabilidad de los productos se convierte en uno de los principales problemas de la investigación en agricultura de precisión, especialmente en el seguimiento de las operaciones en la explotación (McBratney et al., 2005). El uso de un sistema de información geográfica (SIG) como herramienta de agricultura de precisión puede brindar facilidades para mejorar la información de trazabilidad vinculándola con situaciones agroambientales, como la condición del suelo, las propiedades locales y las áreas de captación. Por lo tanto, la geotrazabilidad se puede definir como la capacidad de identificar las características del entorno directo e indirecto del campo para documentar la historia de los eventos que ocurren en el área de producción que pueden afectar los cultivos desde la siembra hasta la cosecha (Oger et al., 2010).

Una de las aplicaciones relacionadas con la trazabilidad en la agricultura de precisión es el uso de la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID). En los últimos años, el uso de etiquetas RFID se desarrolló en muchas áreas de la agricultura, como la ganadería, la horticultura y la aplicación de la cadena de frío, así como en la agricultura de precisión. El uso ampliado de RFID en la agricultura de precisión hace posible aumentar la eficiencia, la productividad y la rentabilidad de los sistemas agrícolas al tiempo que evita efectos no deseados en el medio ambiente. La obtención de información en tiempo real permite a los agricultores ajustar las estrategias en cualquier momento al proporcionar una base sólida para reconocer las diferencias y modificar las acciones de gestión en consecuencia. Debido a que la instalación de RFID es más sencilla en comparación con otros sistemas cableados, los sensores se pueden usar ampliamente para obtener información local detallada.

- Medición de la temperatura del suelo mediante sensores inalámbricos
- Contenedores coincidentes de frutas cosechadas con árboles correspondientes durante la cosecha en huertos
- Vehículos todoterreno para ayudar a la gestión de flotas
- La fijación a los productos (semillas, fertilizantes, pesticidas, etc.) y los lectores se instalan en la máquina, detectando lo que se pone en la tolva o tanque del implemento (Ruiz-Garcia y Lunadei, 2011)

Como ejemplo de investigación utilizando RFID, podemos referirnos a un artículo de Peets et al. (2009) que se hizo para identificar qué datos se deben almacenar en un sistema de registro automático para rastrear la aplicación de agroquímicos. En esta investigación, se desarrolló un sistema prototipo para identificar y verificar agroquímicos en los sistemas de trazabilidad y hacer referencia a las bases de datos nacionales de pesticidas existentes utilizando etiquetas RFID empleando una base de datos para el registro de datos detallados (Figura 12).

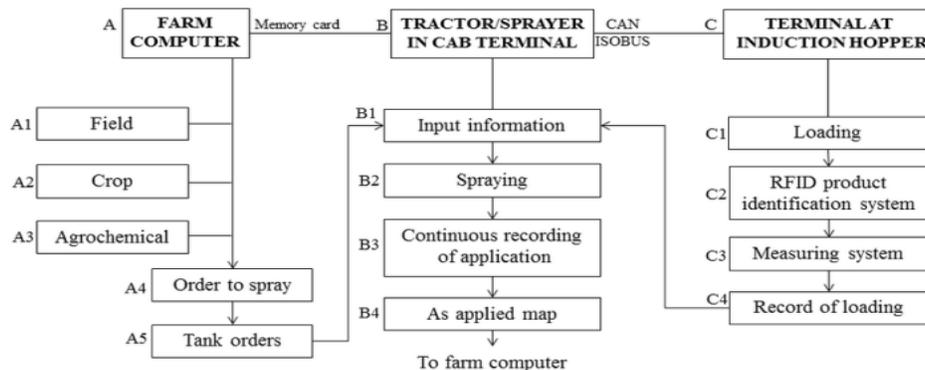


Figura 12: Esquema de un diagrama de flujo de datos de un sistema de trazabilidad agrícola en PA (Peets et al., 2009)

3.4. Cómo implementar PA con tecnología actual de bajo costo

La gestión agrícola tradicional se transforma en una más flexible y dinámica, basada en la toma de datos en tiempo real de variables de interés para la planificación y supervisión de cultivos. Los sistemas de seguimiento agrícola permiten su configuración a diferentes escalas espaciales y temporales en relación con los recursos de los ecosistemas, la extensión de las parcelas, los tipos de cultivos y los objetivos que se persiguen. El rápido desarrollo de las tecnologías de agricultura de precisión y su potencial para transformar los sistemas de producción agrícola está aumentando, sobre todo, al brindar oportunidades de desarrollo que respaldan una mayor inclusión digital de los pequeños productores y la apertura de nuevas oportunidades en este sector. Sin embargo, un desafío crítico del sector agrícola es el alto costo de la adopción de nuevas tecnologías,

especialmente para los pequeños y medianos agricultores de los países en desarrollo. A nivel de pequeños productores, estas estrategias deben configurarse e implementarse utilizando tecnologías de agricultura de precisión de bajo costo.

La PA generalmente se asocia con tecnologías sofisticadas que varían en precio. Las tecnologías comunes asociadas con la agricultura de precisión incluyen hardware y software de computadora, GPS y equipos de monitoreo de rendimiento, y equipos para aplicaciones de tasa variable. A pesar de los costos considerables, la PA a veces puede dar sus frutos si da como resultado un uso más eficiente de los recursos y los insumos. Cuando todo un campo se trata de manera uniforme, algunas áreas recibirán cantidades excesivas de fertilizantes o pesticidas que no darán como resultado mayores rendimientos. Otras áreas no recibirán suficientes insumos. O tal vez el tratamiento puntual de una plaga o la roturación profunda de una pequeña porción de un campo generarán un mayor beneficio de rendimiento e ingresos que si la misma cantidad de dinero se invirtiera en un insumo diferente distribuido en todo el campo.

La tecnología UAV permite la implementación de estrategias de monitoreo de cultivos para determinar el estado de salud, el nitrógeno y otros niveles de nutrientes. Puede proporcionar datos que permitan la aplicación dirigida de tareas y productos agrícolas en áreas previamente identificadas y limitadas por medio de algoritmos informáticos, y es a través de esta aplicación tecnológica que el PA cobra sentido. Las imágenes recolectadas por UAV permiten construir mapas de geolocalización de cultivos donde es posible determinar áreas con malezas (Barrero y Perdomo, 2018), lo que permite programar la aplicación de herbicidas en las zonas críticas (Yang, Yang, & Mo, 2018). Además, los mapas de cultivos permiten monitorear los resultados de la aplicación de fertilizantes y herbicidas para evaluar su eficiencia y hacer ajustes de forma dinámica y flexible (Castaldi, Pelosi, Pascucci y Casa, 2017). En el caso de (Schut, Traore, Blaes y de By, 2018), los autores trabajaron con pequeñas fincas para demostrar cómo las imágenes recopiladas por un UAV se pueden usar para evaluar la variabilidad espacial en los rendimientos y la respuesta a diferentes tratamientos con fertilizantes. En la Tabla 1 se muestra un análisis comparativo de las características técnicas de las plataformas aéreas analizadas en la literatura para soluciones de bajo costo.

Cuadro 3. Plataformas aéreas de bajo costo para pequeños productores. Fuente: (Velázquez E, 2020)

Plataforma	Escribe	Cámara	Altura (m)	Resolución (cm/píxel)	Índice de vegetación	Análisis de software	Referencia
DJI matriz 600	hexacóptero	parrot Secuoya Multispectral	120	5	NDVI, NDRE y GNDVI	pix4d	Handique et al., 2017
SenseFly eBee 3	Ala fija	RGB Canon S110 con Filtro NIR	115	5	exG2, exR, exG y NGRDI	Pix4D QGIS v2.16 toolbox Orfeo SAGA-GIS v5.6.1	Oldeland et al., 2017
Halcón Asctec 8	octacóptero	Sony NEX 5n RGB	100	2	GRVI	ENVI	Burkart et al., 2018
DJI phantom 3	cuadricóptero	Parrot Secuoya Multispectral	30	4	DVI, NDVI, NDGI, NDRE	Tool box Pix4D v.3.0.1 QGIS v2.14 Matlab ANN	Romero et al., 2018
hawkeye	Parapente	Tetracam ADC Lite	35 - 45	2	NDVI y GNDVI	ExelisVIS ENVI v4.8	Caza et al., 2018
Okto Kopter XL	octacóptero	Tetracam MiniMCA 6	100	5	NDVI, NDRE, GNDVI	ArcGIS v10.0	Krienke et al., 2017
Phantom Zeta FX-61	Ala fija	Micasense Rededge	60 - 70	1.82 y 4.77	NDVI y NGRDI	Tool box Pix4D Matlab ANN	Barrero & Perdomo, 2018
Microdron MD4-100	cuadricóptero	Olympus pen E-PM1	50 - 100	1.9 y 3.81	-	Agisoft PhotoScan v1.2.4	Jiménez-Brenes et al., 2017

Las estrategias requieren de la participación de personal experto, que interprete los datos y brinde apoyo a los pequeños productores, este hecho complica su funcionamiento. Las diferentes tecnologías implementadas en los casos estudiados según su propósito funcional se agrupan en

27 sensores, redes de comunicación, integración de datos, inteligencia mejorada y mayor rendimiento en el modelo PA como se presenta en la Figura 13. Un punto clave para el éxito de las estrategias tecnológicas es la implementación del comportamiento aumentado; por lo tanto, es necesario emplear tecnologías de visualización para presentar de forma clara y sencilla la interpretación de los datos y luego los resultados. Todos ellos provocarán la fuerza de comprensión de los pequeños productores sobre cómo está evolucionando el cultivo. Esto contribuirá al crecimiento sostenible de las economías agrícolas mediante el fortalecimiento del conocimiento, la comunicación y la colaboración. Además, es relevante que las estrategias incorporen aspectos relacionados con la capacitación, transferencia y adopción de tecnologías de AP.

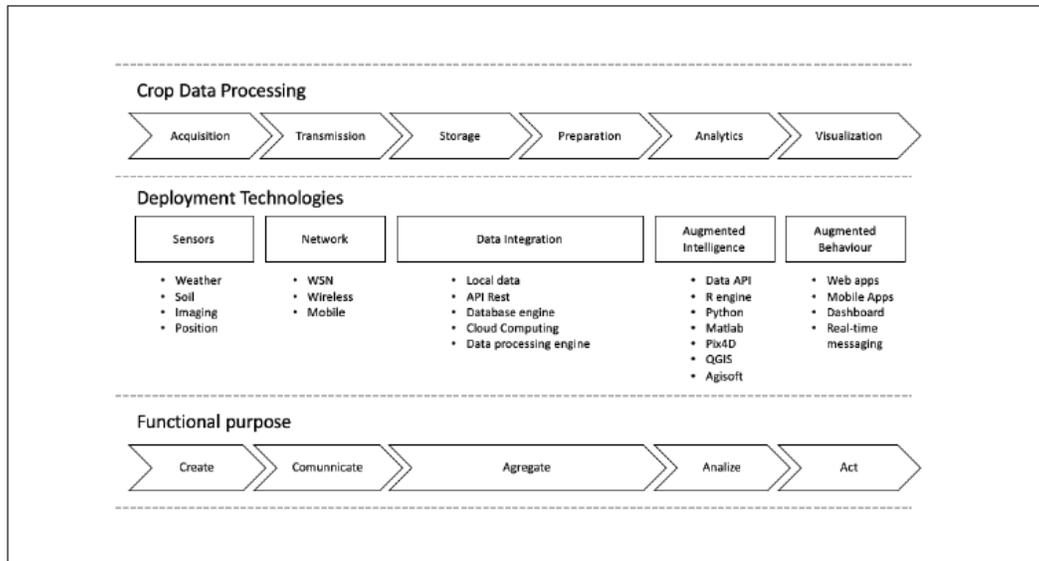


Figura 13. Tecnologías de bajo costo desplegadas en AP (Velázquez E, 2020)

4. Introducción a los sensores

4.1. Metrología (exactitud, precisión, resolución, error, etc.)

Generalmente, un sensor es un aparato que detecta cambios en cantidades físicas o eléctricas o de otro tipo. Por lo tanto, produce una salida de señal eléctrica u óptica como reconocimiento del cambio en esa cantidad específica. Entonces, un sensor es un módulo o chip que observa los cambios que ocurren en el mundo físico y envía retroalimentación al microcontrolador o microprocesador. Se debe proporcionar excitación (alimentación) y conexión a tierra al sensor para que funcione correctamente. Los sensores se han convertido en la base y una parte vital de PA. Están siendo utilizados para observación, caracterización, reconocimiento y aplicación en AP (Figura 14).

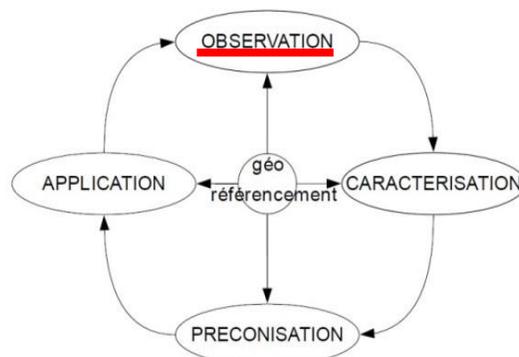


Figura 14. El propósito del uso de sensores en agricultura de precisión (Bratney , 2000)

La Figura 15 ilustra el vínculo entre los diferentes sistemas técnicos y sensores en la agricultura de precisión, desde los sistemas de detección y posicionamiento geográfico hasta el apoyo a la toma de decisiones, la aplicación de entrada de tasa variable .

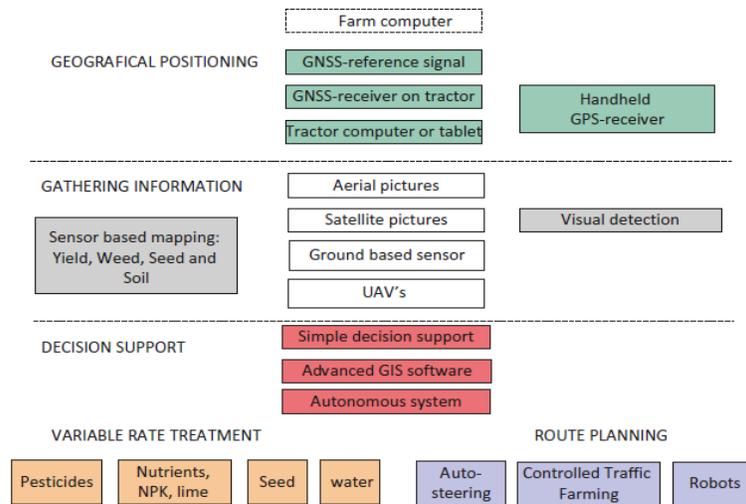
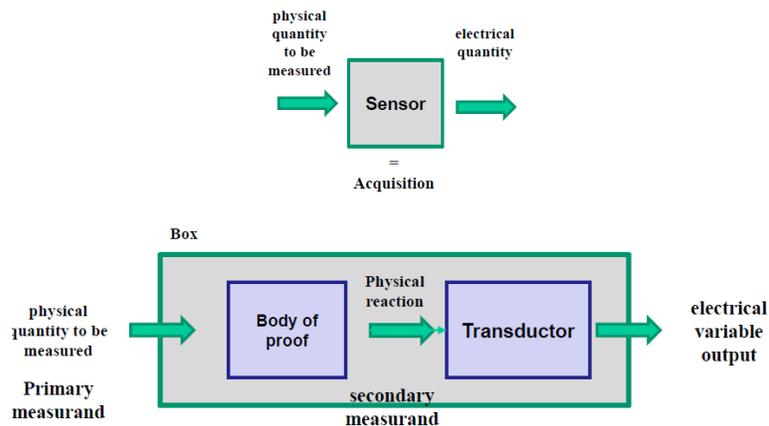


Figura 15. Sensores y sistemas técnicos aplicados en agricultura de precisión (Sorenson , 2018)

Cualquiera que sea el tipo de sensor y su alcance, es parte de una cadena de medición. Los sensores son los primeros elementos de una cadena de adquisición de datos. Estas son las interfaces entre el "mundo físico (real)" y el "mundo eléctrico". El sensor para resumir;



La precisión del sensor es la máxima diferencia que existirá entre el valor real (que debe ser medido por un patrón primario o un buen secundario) y el valor indicado a la salida del sensor. Nuevamente, la precisión se puede expresar como un porcentaje de la escala completa o en términos absolutos. Fundamentalmente, 'Exactitud' simplemente describe qué tan cerca el valor indicado representa la medida real y está siendo monitoreada, teniendo en cuenta todas las posibles fuentes de error que son relevantes para la aplicación. Claramente, entonces, la precisión se puede definir de cerca para un conjunto dado de condiciones de operación, pero es de vital importancia tener en cuenta todos los factores que contribuyen si se requieren los mejores resultados.

La resolución es el parámetro que representa el incremento más pequeño del mensurando que

29 puede ser determinado por el sensor. La resolución de la mayoría de los sensores modernos es buena y está limitada principalmente por los niveles de ruido de los circuitos electrónicos asociados. En general, la resolución de la mayoría de las técnicas de detección analógicas, por ejemplo, galgas extensiométricas, inductivas, capacitivas estaría dentro de las 10 partes por millón, pero los potenciómetros, los dispositivos digitales incrementales y digitales absolutos tienen resoluciones determinadas directamente por diseño y limitadas principalmente por el número de bits.

La precisión se puede describir como la reproducibilidad de las mediciones. Cuando sus sensores sean precisos, sus lecturas serán consistentes. Esta especificación es el cambio incremental detectable más pequeño del parámetro de entrada que se puede detectar en la señal de salida. La resolución se puede expresar como una proporción de la lectura (o la lectura a escala completa) o en términos absolutos.

Debe apreciarse que hay dos aspectos principales en estas posibles fuentes de error. En primer lugar, está el rendimiento inherente del sensor y, en segundo lugar, la calidad de los medios de medición de ese rendimiento, es decir, el equipo de calibración. En general, se acepta que el equipo de prueba debe ser al menos cinco veces más preciso que el dispositivo que se está probando para estar seguros de que las afirmaciones sobre el sensor son correctas .

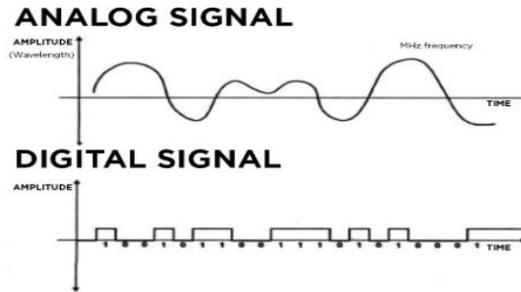
4.2. Tipos de señales

4.2.1. analógico y digital

Hay diferentes tipos de sensores que producen una señal de salida analógica continua y estos sensores son sensores analógicos. Según la naturaleza de la señal de salida, los sensores se pueden dividir en los dos tipos siguientes:

(1) Sensor analógico: convierte la no electricidad a medir en un voltaje o corriente que cambia continuamente. Si se requiere que coopere con una pantalla digital o una computadora digital, debe estar equipado con un dispositivo de conversión de analógico a digital (A / D). Esta señal de salida continua producida por los sensores analógicos es proporcional al mensurando . Generalmente, hay varios tipos de sensores analógicos; ejemplos prácticos de varios tipos de sensores analógicos son los siguientes: acelerómetros, sensores de presión, sensores de luz, sensores de sonido, sensores de temperatura, etc. Entonces, el sensor analógico detecta los parámetros externos (velocidad del viento, radiación solar, intensidad de la luz, etc.) y proporciona voltaje analógico como salida. Por lo tanto, el voltaje de salida puede estar en el rango de 0 a 5V. Los sensores mencionados anteriormente son básicamente analógicos.

(2) Sensor digital: puede convertir directamente la cantidad no eléctrica en cantidad digital, usarse directamente para la visualización y el cálculo digitales, cooperar directamente con las computadoras y tiene las ventajas de una fuerte capacidad antiinterferencias y es adecuado para la transmisión a distancia. En la actualidad, este tipo de sensor se puede dividir en tres categorías: pulso, frecuencia y salida digital. Como sensores de rejilla.

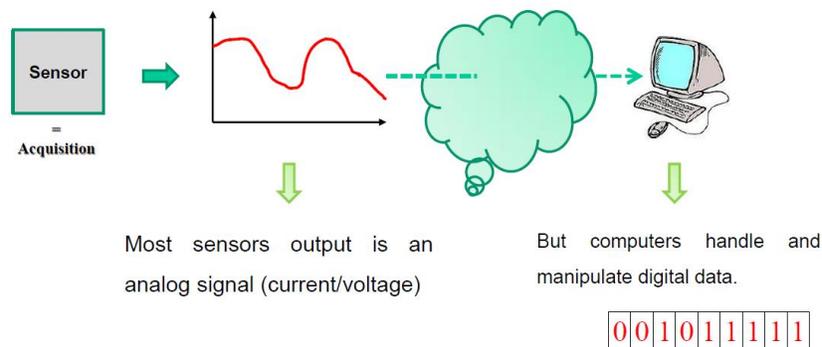


Diferencia entre sensores analógicos y digitales.

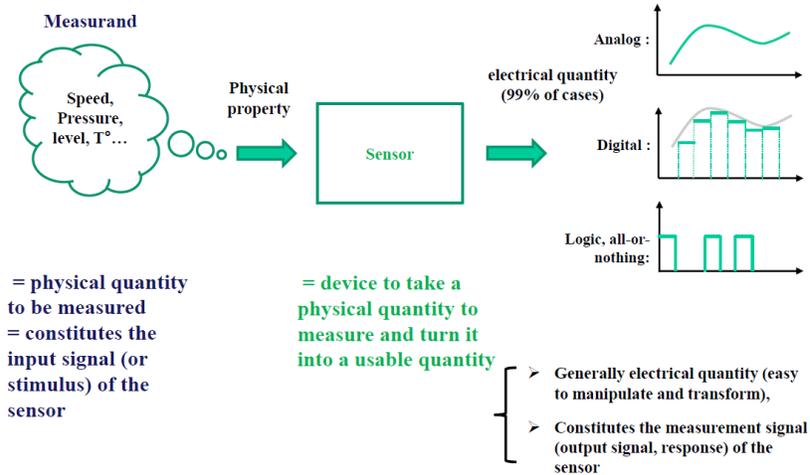
A diferencia del sensor analógico, el sensor digital produce valores discretos (0 y 1). Los valores discretos a menudo se denominan señales digitales o binarias en la comunicación digital. Los sensores electrónicos o sensores electroquímicos en los que la conversión de datos y la transmisión de datos tienen lugar digitalmente son sensores digitales. Estos sensores digitales están reemplazando a los sensores analógicos ya que son capaces de superar los inconvenientes de los sensores analógicos. El sensor digital consta principalmente de tres componentes, como el sensor, el cable y el transmisor. Pero, en los sensores digitales, la señal medida se convierte directamente en una salida de señal digital dentro del propio sensor digital. Entonces, esta señal digital se transmite a través de cable digitalmente. Existen

diferentes tipos de sensores digitales que superan las desventajas de los sensores analógicos. La mayor parte de la salida de los sensores está en forma de señal analógica, pero las computadoras solo manejan y manipulan datos digitales. Por lo tanto, la conversión de analógico a digital es necesaria. La conversión de una señal analógica/digital se realiza principalmente en dos etapas;

- 1) El primero se llama muestreo (discretización de la escala de tiempo)
- 2) El segundo se llama cuantización (amplitud de digitalización / corriente de la señal)



A continuación se presenta la estructura de la cadena de medida digital y analógica (CIHEAM, 2016)

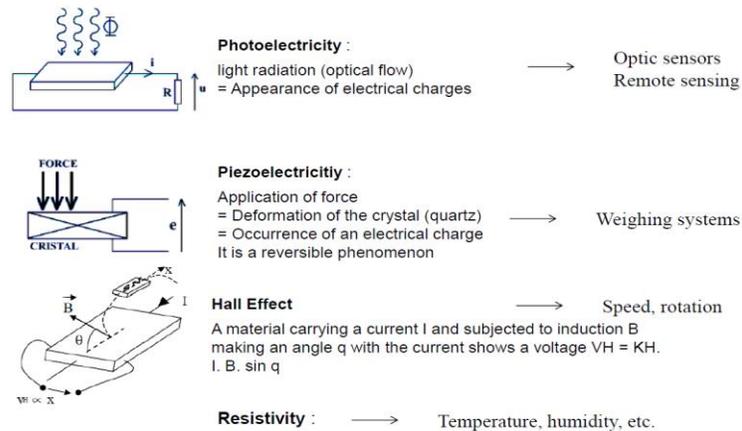


4.3. Clasificación de sensores

Los tipos de sensores son muy amplios y podemos utilizar diferentes criterios para clasificarlos, como sus principios de conversión (efectos físicos o químicos básicos del trabajo del sensor), sus usos, sus tipos de señales de salida y los materiales y procesos que los fabrican. .

4.3.1. Clasificación según el principio de medición

El papel del sensor es convertir una energía en otra forma de energía, por lo que muchos académicos también usan "Transductor" para referirse a "Sensor". La clasificación de los sensores de acuerdo con los principios de medición se da a continuación.



4.3.2. Clasificación según la variable medida

Si las cantidades de entrada son: temperatura, presión, desplazamiento, velocidad, humedad, luz, gas y otras no eléctricas, los sensores correspondientes se denominan sensores de temperatura, sensores de presión, sensores de pesaje, etc. Este método de clasificación explica claramente el propósito de la sensor y proporciona comodidad al usuario. Es fácil seleccionar el sensor requerido de acuerdo con el objeto de medición. La desventaja es que este método de clasificación clasifica los sensores con diferentes principios en una categoría. Es difícil encontrar los puntos en común y las diferencias en el mecanismo de conversión de cada sensor. Por lo tanto, es desfavorable comprender algunos principios básicos y métodos de análisis del sensor. Porque el mismo tipo de sensor, como un sensor piezoeléctrico, se puede usar para medir la aceleración, la velocidad y la

amplitud de la vibración mecánica, así como el impacto y la fuerza, pero el principio de funcionamiento es el mismo.

Este método de clasificación divide la mayoría de los tipos de cantidades físicas en dos categorías: sensores básicos (cantidades básicas) y sensores específicos (cantidades derivadas). Por ejemplo, la fuerza se puede considerar como una cantidad física básica y la presión, el peso, la tensión, el momento, etc. se pueden derivar de la fuerza. Cuando necesitamos medir las cantidades físicas anteriores, solo necesitamos usar sensores de fuerza. Por lo tanto, comprender la relación entre las cantidades físicas básicas y las cantidades físicas derivadas es muy útil para saber qué tipo de sensores utiliza el sistema. A continuación se detallan los sensores clasificados en básicos y específicos.

➤ **« Basic » sensors :**

- | | |
|--------------------------|--|
| ✓ Temperature, | ✓ pH, |
| ✓ Humidity (air or soil) | ✓ Flow rate liquid (but also grains...), |
| ✓ Luminosity, radiance | ✓ Force, torque |
| ✓ Pressure, | ✓ Speed, acceleration |
| ✓ Precipitation, | ✓ Position, |
| | ✓ ...etc |

➤ **« Specific » sensors :**

- ✓ Fruit growth,
- ✓ Insects counting,
- ✓ Sap flow,
- ✓ Gas CO₂, NO₂...
- ✓ Fruit Maturity (Spectron...)

5. Sistemas mundiales de navegación por satélite

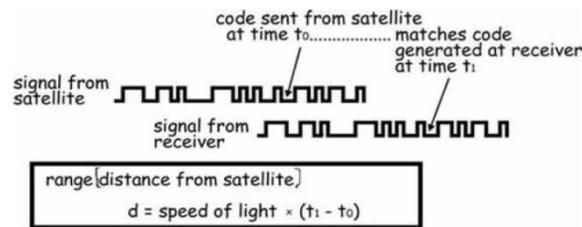
Los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS) son el término genérico estándar para los sistemas de navegación por satélite que proporcionan posicionamiento geoespacial autónomo con cobertura global. Cualquier GNSS se utiliza para identificar la ubicación geográfica del receptor de un usuario en cualquier parte del mundo. Actualmente, hay dos sistemas GNSS operativos (GPS y GLONASS) y dos sistemas en desarrollo (Galileo y BeiDou).

4.1. Principio de funcionamiento y errores vs drones

La geolocalización mediante sistemas de navegación basados en satélites se basa en la capacidad de medir el tiempo que tarda una señal en viajar desde un satélite hasta el receptor. Las señales de radio viajan a la velocidad de la luz, que es constante, por lo que si se conoce el tiempo de viaje, se puede determinar la distancia entre el satélite y el receptor. Dado que la posición de los satélites siempre se conoce, debido al control constante de las órbitas de los satélites, se puede calcular la ubicación del receptor del usuario, si el receptor obtiene señales de al menos cuatro satélites.

33

Cada satélite de navegación GNSS transmite continuamente su posición junto con datos de tiempo en dos frecuencias (L1 y L2). La banda L1 lleva dos códigos, el código de adquisición aproximada (C/A) y el código de precisión (P). La señal C/A también se denomina 'fase de código' o 'Servicio de posicionamiento estándar' (SPS) y es la principal señal utilizada en la actividad civil. La señal P también se conoce como 'Servicio de posicionamiento preciso'. La banda L2 solo lleva el código P. Tanto las señales C/A como las P tienen un código digital de referencia temporal denominado código pseudoaleatorio. Los receptores contienen un almanaque de los códigos pseudoaleatorios generados por los satélites y la hora en que se generan. Cuando un receptor intercepta el código digital de un satélite, puede comparar la señal digital con su almanaque para determinar cuándo se generó la señal. El tiempo de viaje es la diferencia entre el momento en que se interceptó la señal y el momento en que se generó (Figura 9). La diferencia entre el código C/A y P está en la resolución del código y, por lo tanto, en la precisión de la determinación de tiempo y distancia. Los satélites también transmiten información satelital general en 'fase portadora'. Las señales de fase portadora se transmiten en las bandas L1 y L2 ya una frecuencia mucho más alta que la fase de código. La frecuencia más alta permite una medición más precisa del alcance entre el satélite y el receptor. Sin embargo, la fase de la portadora no está referenciada en el tiempo como la fase del código. Esto hace que la interpretación de la señal sea susceptible al 'deslizamiento del ciclo'. Para minimizar este efecto, los receptores de fase portadora utilizan el código C/A para proporcionar una estimación aproximada y la señal de fase portadora para mejorar esta estimación. Solo las unidades GNSS avanzadas pueden interpretar la señal de 'fase de portadora'.



Si un receptor GNSS se comunica con tres satélites (es decir, está a cierta distancia de cada satélite), su posición debe encontrarse en la intersección de las tres esferas de "distancia" que forma con ellos. Esto da dos ubicaciones posibles (ver Figura 10), una de las cuales no es realista. Si se está rastreando un cuarto satélite, también se pueden tener en cuenta los errores asociados con el tiempo y encontrar una ubicación más precisa. La mayoría de los receptores no darán una lectura a menos que cuatro satélites estén siendo rastreados simultáneamente.

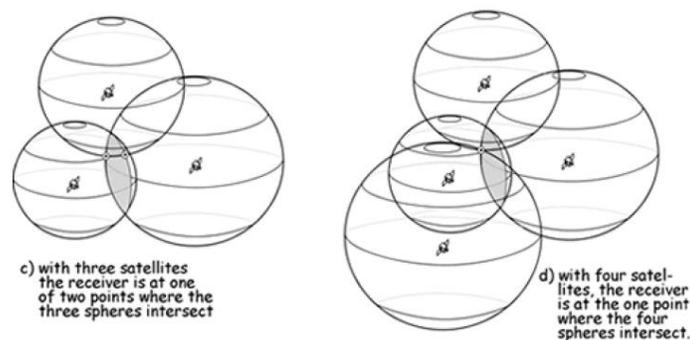


Figura 16. La influencia del número de satélites que se comunican con un receptor GPS en la ubicación precisa de la posición (Leonard y Philip, 2006)

El sistema GNSS consta de tres segmentos;

- Spatial segment
- Control segment
- User segment



El GNSS diferencial (DGNSS) es un sistema de aumentación GNSS basado en mejorar la precisión del receptor del usuario (o receptor móvil) mediante información diferencial o correcciones proporcionadas por una estación GNSS de referencia cercana o una red de estas estaciones. La aplicación de este concepto permite cancelar o mitigar las fuentes comunes de error entre los satélites y los receptores, debido a las mediciones de la fase de la portadora de doble frecuencia y la aplicación del procesamiento de doble diferencia. En el enfoque DGNSS, aprovechamos el conocimiento de una posición topográfica precisa de la estación de referencia. De esta forma, es posible derivar las desviaciones entre la posición estimada y la real, y así calcular las correcciones a las pseudodistancias GNSS de cada satélite. Tales correcciones son entonces útiles para mejorar el posicionamiento del receptor del usuario.

Utilizando un receptor base con coordenadas bien conocidas, el sistema RTK consiste en un receptor de usuario y un enlace de comunicación para recibir y usar mediciones satelitales de sentido común para realizar las diferencias correspondientes para obtener centímetros. Aparte de la calidad de la señal (C/A frente a P frente a la portadora), el error de geolocalización calculado por un receptor puede verse afectado por una o más de las siguientes fuentes de error.

Errores de satélite. Errores en la sincronización de los relojes atómicos a bordo o un error en la ubicación transmitida del satélite (error de efemérides).

Errores del receptor. La capacidad del receptor GPS y el software asociado para hacer frente al ruido térmico y electrónico de fuentes externas, como motores, afectará la precisión con la que el receptor puede geolocalizarse.

Errores atmosféricos . Para llegar a un receptor de GPS, la señal del satélite debe atravesar la atmósfera terrestre y, en particular, la ionosfera y la troposfera que degradan/disminuyen la velocidad de la señal.

Errores multitrayecto . Estos son errores causados cuando la antena GPS recibe señales que han sido reflejadas desde una fuente secundaria, como cobertizos o silos cercanos. Esto alarga el tiempo de viaje y por lo tanto crea un error en la determinación de la distancia. Los errores de trayectos múltiples se pueden minimizar al no colocar una antena de estación base fija cerca de edificios y operar sistemas móviles lejos de estructuras grandes.

Errores de deriva continental. Las derivas de Australia son de 7 cm en dirección noreste cada año. Se requiere una estación base DGPS fija para superar este problema y garantizar la repetibilidad de una temporada a la siguiente y una precisión de ± 2 cm.

Geometría satelital . La precisión de la ubicación geográfica también depende de la geometría de los satélites utilizados para la ubicación geográfica. La geometría óptima es que un satélite esté directamente sobre la cabeza y los otros tres se distribuyan uniformemente. A medida que los satélites orbitan la tierra, su geometría relativa a un receptor varía y la dilución de los errores de posición variará; esta es la causa principal de la variación diaria en la precisión de la

geolocalización. Los receptores con más de 12 canales de rastreo satelital ayudan a minimizar este efecto.

4.2. Receptores y precisión

Hay diferentes tipos de receptores GNSS utilizados en aplicaciones agrícolas. Se explican a continuación;

Receptores autónomos GNSS: Se conocen como receptores del Sistema de Posición Estándar (SPS), operan utilizando únicamente el código C/A básico en la banda L1 de los satélites de navegación. Son los receptores GNSS más baratos disponibles, ya que no hay señal de corrección adicional ni circuitos complejos para utilizar el código P o la fase portadora. Los receptores SPS tienen la precisión de ubicación geográfica más baja (normalmente ± 5 m, pero puede ser mayor) de todos los receptores GNSS del mercado.

Receptores de corrección diferencial: el error en una señal GNSS puede determinarse registrando la señal GNSS en una ubicación fija inspeccionada. Al comparar la posición del receptor GNSS con la posición inspeccionada, se puede determinar el error físico. El GNSS diferencial aprovecha este error conocido para corregir la ubicación geográfica del SPS. La corrección se puede registrar de forma independiente y la ubicación geográfica de SPS se puede corregir más tarde (procesamiento posterior) o la corrección se puede aplicar en tiempo real.

DGNSS o DGPS en tiempo real: requieren dos antenas: una para recopilar el código C/A y determinar una ubicación geográfica y una segunda para recibir un factor de corrección para mejorar la precisión de la ubicación geográfica. Hay disponible una variedad de fuentes diferentes para la señal de corrección, por ejemplo, desde una estación base local, una baliza de navegación costera de aire libre o una red de área amplia (WADGPS). Estos receptores GNSS tienden a ser más costosos que los receptores GNSS independientes, ya que requieren componentes adicionales para aceptar la señal de corrección y actualizar la ubicación geográfica.

Receptores de fase portadora: Los receptores GNSS o GPS de fase portadora utilizan el cambio de fase de la señal portadora de información entre la propagación en el satélite y la recepción por parte del usuario. Este método ofrece una precisión potencialmente mayor (nivel centimétrico) pero también requiere receptores más caros. Los sistemas de fase portadora pueden ser de frecuencia única (es decir, accediendo sólo a las señales de la banda L1) o de frecuencia dual (es decir, accediendo a las señales de las bandas L1 y L2). Los receptores de doble frecuencia tienen la ventaja de un tiempo de adquisición más rápido. Muchos receptores también pueden acceder a los satélites GLONASS y GPS si es necesario. Si se utiliza una estación base local y se calcula la corrección y se transmite a través de un transmisor de radio, se dice que el sistema está funcionando en modo cinemático en tiempo real (RTK).

4.3. Aplicaciones en la agricultura (estudios de casos)

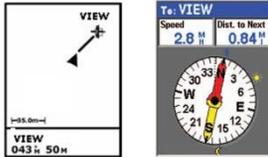
Usos del GNSS en agricultura de precisión

- 1) Orientación de puntos
- 2) Medición del área de la parcela
- 3) Mapeo Topográfico
- 4) Aplicadores de Tasa Variable (Top Dressers y Crop Dusters)
- 5) Mapeo de rendimiento
- 6) Dirección asistida por GNSS del tractor

7) Teledetección Agrícola

1) Orientación de puntos

- The target point is selected on map screen.
- The target position is highlighted.
- A cursor location indicates present position
- The GNSS navigation compass provides guidance to target.



2) Medición del área de la parcela

- Camine por el límite del campo con la unidad GNSS;
- Indicar estimación de perímetro y área;
- Tolerancia permitida = Perímetro * 1,25 m. (Documento de orientación técnica del CCI)
- Error = (Área verdadera - Área medida) / Perímetro [$<1,25$ metros]
- Con EGNOS, el rendimiento mejoró significativamente. Lo que significa una estimación de área significativamente mejor.

3) Mapeo Topográfico

- Comienza con la recopilación de datos espaciales con datos de elevación/altura de un sistema RTK GNSS (con una precisión horizontal de 2 cm) . (Figura 17).
- Una vez que se recolectan los datos, el software los analiza para producir mapas de contorno, elevación, pendiente y aspecto.
- Los datos topográficos se recopilan conduciendo un tractor sobre el campo mientras se realiza una operación agrícola a intervalos de franja regulares, con la unidad GNSS registrando puntos de datos cada 5-10 m.
- Cuanto más estrecho sea el ancho de la franja, mejor, ya que se recopilan más datos para producir mapas topográficos más detallados del paisaje.



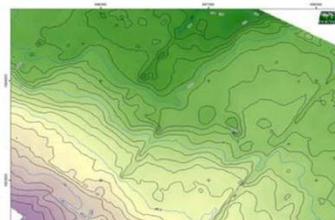
RTK GPS Mounted in a 4WD Vehicle



Figura 17. Sistema GPS RTK para medición de área de parcela montado en vehículo (Salem, 2007)



Point Data Surveyed by GNSS RTK

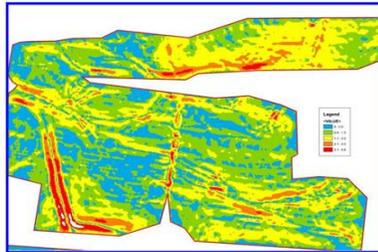


DEM After Analysis

Figura 18. Datos de puntos medidos por GNSS RTK y DEM después del análisis (Salem, 2007)

Beneficios de los mapas topográficos de fincas:
Útil para diseñar diseños de granjas:

- Maximizar la eficiencia operativa de la granja,
- Controlar la erosión, y
- Minimice el encharcamiento de agua.



Slope Map:

Blue represents areas of very low slope (< 0.5%); which maybe prone to water logging.

Red represents areas of higher (steeper) slope, which have higher susceptibility to erosion.

Contour lines laid over satellite imagery.

This shows slopes and surface water flows; an extremely useful planning and layout design tool.



Figura 19. Mapas derivados del mapeo topográfico (Salem, 2007)

4) Aplicadores de tasa variable

- Permitir que los agricultores traten solo las áreas afectadas de un campo.
- Se necesita GNSS porque el equipo de velocidad variable necesita saber dónde cambiar la velocidad de una entrada.
- Calcula la cantidad deseada de producto químico a aplicar en cada momento.
- Se debe usar un sistema GNSS para correlacionar continuamente la ubicación en el campo con una coordenada en el mapa y la tasa de aplicación deseada para esa coordenada.
- La mayoría de los controladores de dosis variable en realidad intentan sincronizar la dosis de aplicación con la posición en el campo "mirando hacia adelante" en el mapa para el próximo cambio de dosis. Esto tiene en cuenta el tiempo requerido para cambiar la dosis que sale del aplicador y la velocidad de avance del tractor.

5) Mapeo de rendimiento

- Tradicionalmente, los agricultores tenían un número promedio en términos de rendimiento de cultivo para un campo.
- El rendimiento promedio del cultivo enmascara la variabilidad en el rendimiento que existe en un campo.
- Un mapa de rendimiento evalúa la producción del campo y cómo varía espacialmente en un campo
- Permite que un productor investigue la cuestión de por qué ciertas áreas produjeron de la manera en que lo hicieron.

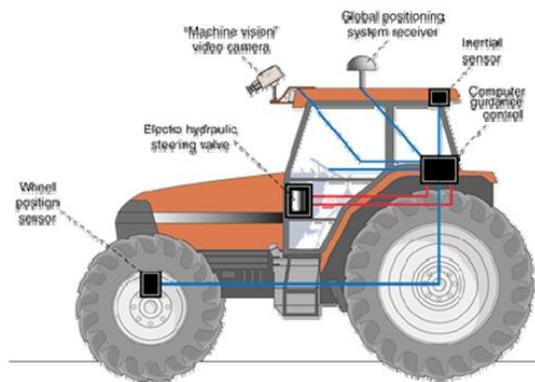
El mapa de rendimiento proporciona 2 piezas importantes de información:

- **Variabilidad del rendimiento:**

- ilustrado en un mapa por un conjunto de colores, cada color representando un rango de rendimiento.
- La leyenda del mapa le indicará cómo leer la variación del rendimiento.
- El mapa que muestra principalmente un color significa falta de variabilidad en el rendimiento.
- **Producción de rendimiento:**
 - Indicado por la magnitud relativa de áreas de bajo y alto rendimiento.
 - El color que prevalece en el mapa indica si hay un rendimiento alto o bajo en un campo.
 - Las áreas de baja producción pueden indicar problemas en los niveles de nutrientes del suelo, estrés hídrico o presión de plagas.

6) Dirección asistida por GNSS

- Los agricultores registran sus rutas mientras aran sus campos con un sistema de grabación GNSS
- El tractor se puede programar para seguir la misma ruta: para cultivar, fertilizar, controlar plagas y cosechar.



Hands-Free GNSS Assisted Steering

The Wired Tractor

7) Teledetección Agrícola

- Detección Remota = monitorear la condición de sus campos sin tocarlos físicamente utilizando imágenes de sensores remotos tomadas desde un punto de vista muy por encima del campo (por ejemplo, satélites o aviones).

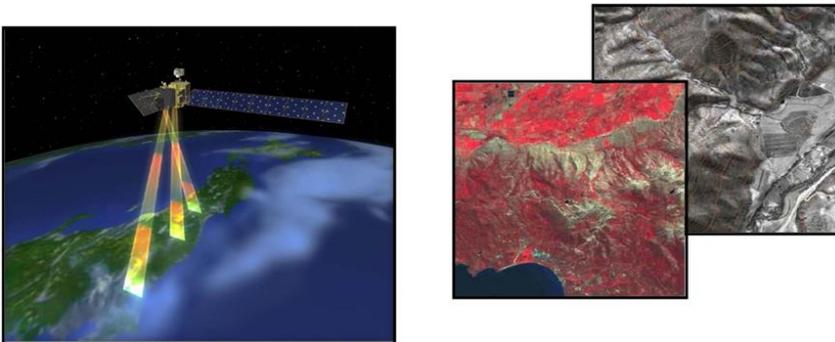


Figura 20. Teledetección Agrícola, Monitoreo de Campos por Satélites (Salem, 2007)

5. Sensores comerciales para megafonía

5.1. Detección de cultivos

Los sensores de cultivos proporcionan a los agricultores mediciones rápidas, objetivas, cuantitativas y precisas (repetibles) difíciles o imposibles de obtener por otros medios. En cuanto a la distancia entre el sensor y el objetivo, las técnicas de detección se pueden clasificar en proximidad o detección remota (RS). Técnicamente, una medición remota es cualquier medición obtenida sin contacto con el elemento que se está midiendo. Sin embargo, se acepta comúnmente en AP que las técnicas de detección proximal son las que se utilizan para las mediciones en tierra. Por tanto, cualquier medida obtenida desde drones, aeronaves o satélites se considerará RS. Los pros y los contras de ambas técnicas de detección se pueden ver en la Tabla 4.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de las técnicas de detección proximal y remota

PROXIMAL SENSING	REMOTE SENSING
<ul style="list-style-type: none"> + Usually very high spatial resolution + Simpler technologies + Possibility of using multiple sensors at a time + On-the-go derived operation capabilities 	<ul style="list-style-type: none"> + No contact with the crop or soil + Large scale measurements (field, farm or region) + Instantaneous (single-shot) measurements keeping environmental conditions all the same
<ul style="list-style-type: none"> - Need to step on the field - Small scale measurements - Longer acquisition times (resulting in different environmental conditions) 	<ul style="list-style-type: none"> - Usually lower spatial resolution - Usually more expensive techniques - More meteorology dependent - Need for atmospheric corrections when using satellites

En lo que respecta a la resolución espacial de las mediciones, algunos sistemas de detección proximal (sensor y registradores de datos) solo pueden tomar mediciones en un solo sitio. El motivo puede ser que el sensor necesite una configuración especial o que deba activarse manualmente. Otros sensores pueden obtener mediciones continuas en el tiempo sin requisitos especiales de detección, por lo que solo necesitan moverse por los campos mientras registran su señal de salida y las coordenadas de un receptor GNSS para georreferenciar las mediciones. Estas últimas suelen denominarse técnicas de detección sobre la marcha.

Cuando los sensores van a estar estacionarios en el campo, por ejemplo, sensores de humedad del suelo enterrados o sensores conectados a frutas, pueden proporcionar a los agricultores datos de alta resolución temporal. Sin embargo, la resolución espacial suele ser muy baja, ya que depende directamente de la cantidad de sensores desplegados en el campo. Con frecuencia, solo hay uno o pocos sensores por hectárea y eso hace que la ubicación de los sensores sea un tema muy importante que se debe considerar de antemano. Este tipo de sensores suelen estar conectados mediante comunicaciones inalámbricas en lo que se denomina redes inalámbricas de sensores (WSN).

5.1.1. Caracterización de dosel y biomasa

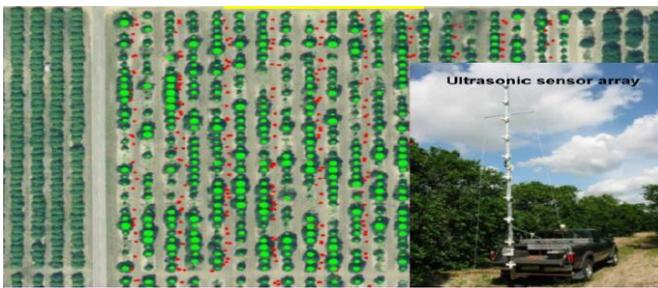
La detección óptica se usa comúnmente para medir la variabilidad en el suelo y la vegetación. Las imágenes ópticas utilizan las partes visible, infrarroja cercana (NIR) y térmica del espectro electromagnético. En agricultura de precisión, la teledetección se utiliza principalmente en el seguimiento detallado de cultivos mediante el cálculo de los denominados índices de vegetación (VI). El VI más conocido es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que es un

cálculo simple, utilizando la reflectancia de la vegetación en las bandas roja (R) e infrarroja cercana (NIR) del espectro electromagnético:

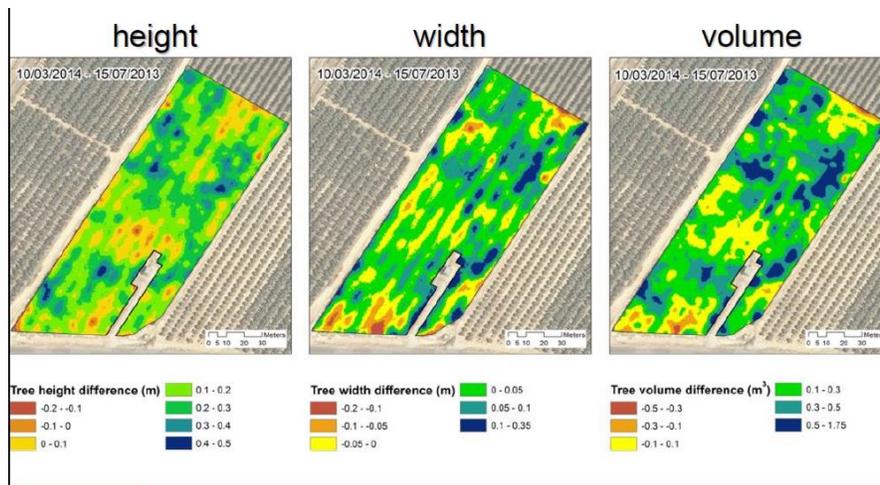
La clasificación de los sensores se puede ver a continuación según la caracterización de la vegetación;

- Crop sensors:
 - Detection and ranging (optical and ultrasonic)
 - For crop detection
 - For crop/canopy characterization
 - Radiometric
 - RGB detection
 - Indices for biomass estimation (and vigour and health status)
 - Other

Detección y telemetría de cultivos (ópticos y ultrasónicos (CIHEAM, 2016)

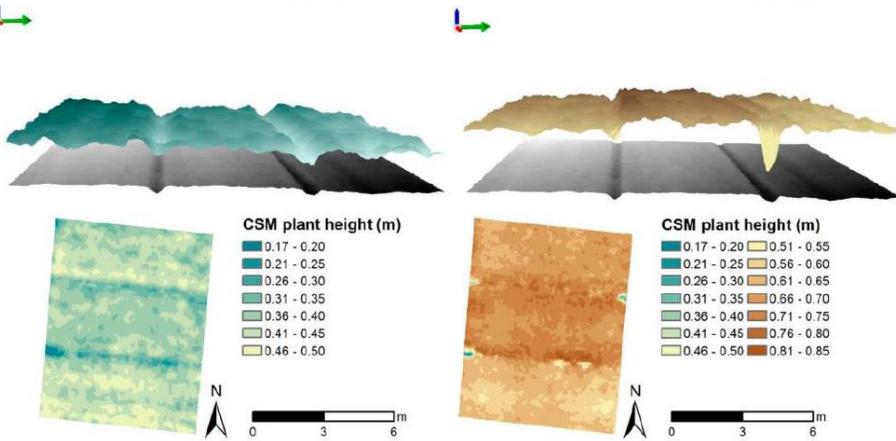


LÍDAR – Mapas de crecimiento del dosel para parámetros de árboles (CIHEAM, 2016)



Detección RGB desde UAV para parámetros de planta (CIHEAM, 2016)

41



Biomasa a través de índices radiométricos utilizados para la medición de la salud y el vigor de las plantas

Los sensores para medir la reflectancia de los cultivos se pueden clasificar según la plataforma. Los sensores ópticos terrestres pueden recopilar datos de reflectancia y almacenarlos en un archivo de texto. Los sensores de tierra también se pueden clasificar en activos o pasivos. La diferencia básica es que los sensores pasivos necesitan una fuente de luz externa, como el sol. Los sensores activos tienen su propia fuente de luz. A continuación se enumeran algunas marcas que se utilizan a mano en el mercado, cada una con sus propias características de construcción.

Crop Circle™



Manufacturer	Holland Scientific
Height of operation	0.25m to 2.5m
Field of view	Height x 0.6 (up to 8 sensors on CANbus)
View angle	nadir
Active light source	Model ACS-220: Yellow (560nm) or Red (650nm) & NIR (770nm) Model 270: 3 user-configurable bands (420 to 800nm)
Data output	Model ACS-220: band information and NDVI or YNDVI Model 270: band information and user-defined index
Calibrations	Crop biomass and nitrogen uptake

<http://hollandscientific.com/product/crop-circle-acs-430-active-crop-canopy-sensor/>

Greenseeker®



Manufacturer	Ntech Industries (Trimble)
Field of view	0.6m (multiple sensor capable)
Height of operation	0.8 – 1.2m above target
View angle	nadir
Active light source	Red (660nm) & NIR (770nm)
Data output	NDVI or four alternatives and nitrogen recommendation
Calibrations	Yield potential and nitrogen responsiveness – winter wheat, spring wheat, canola, corn, sorghum, cotton

<http://www.trimble.com/Agriculture/greenseeker.aspx>

Yara N Sensor® i Yara N Sensor ALS (Active Light Source)



http://www.sensoroffice.com/hp_home2/index.jsp

Manufacturer	Yara Fertilisers
Height of operation	Tractor cab height
Field of view	3m wide strip on each side of the tractor
View angle	oblique
Active light source	Red edge (730nm) and (760nm)
Data output	Biomass index and nitrogen recommendation
Calibrations	winter wheat, winter barley, spring wheat, spring barley, potatoes, protein in winter wheat

TOPCON CROPSPEC™



<http://ag.topconpositioning.com/ag-products/x20-application-kits/cropspec>

Manufacturer	Yara Fertilisers & TOPCON
Height of operation	Tractor cab height
Field of view	3m wide strip on each side of the tractor
View angle	oblique
Active light source	730-740 nm and 800-810 nm
Data output	Biomass Index and N recommendation
Calibrations	winter wheat, winter barley, spring wheat, spring barley, potatoes, protein in winter wheat

5.1.2. Seguimiento de flores y frutos

Las frutas se recolectaron con un sistema para pesar los bins paleta de frutas en PA. Los contenedores fueron retirados por un elevador hidráulico que utilizó celdas de carga para pesarlos y un GPS para registrar la posición. Con este enfoque, por ejemplo, se observó la variabilidad del rendimiento en un huerto de 3,6 ha. En la mayoría de los cultivos la cantidad es un componente de la producción de un campo. La calidad del producto es un segundo componente para los cultivos frutales, la calidad comúnmente incluye parámetros externos (tamaño, color, forma, textura superficial y masa), parámetros internos (dulzura, acidez o enfermedades internas) y frescura (Figura 21). Podemos definir zonas del campo de maduración más temprana o más tardía y realizar cosechas separadas, dejando madurar las de maduración tardía mediante métodos no destructivos.

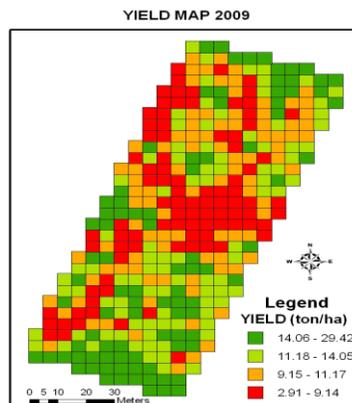
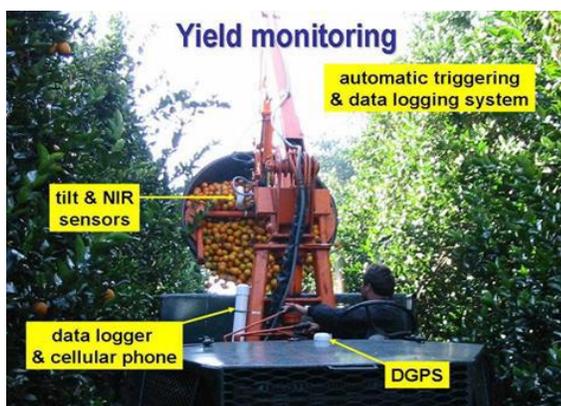


Figura 21. Sistema de mapeo de rendimiento en Orchards y mapas de rendimiento correspondientes (Gemtos, 2012)

Usando sensores remotos encontraron una alta correlación entre los mapas de índices de vegetación cerca del envero (comienzo de la madurez) y los mapas de calidad de la uva. Los índices de vegetación se estimaron por la reflectancia de la planta medida. Las correlaciones entre estos índices y el rendimiento, la calidad del producto, el estado del agua o la disponibilidad de nutrientes se informan en la literatura. La reflectancia de la luz es bastante complicada y se ve afectada por

43 varios factores que hacen que la correlación no sea clara en muchos casos. Liakos et al. encontraron una alta correlación entre el rendimiento espacial y la distribución espacial de las flores en las manzanas. Tomando fotografías y analizándolas, podemos predecir la distribución del rendimiento en el huerto y el rendimiento final (Figura 22).

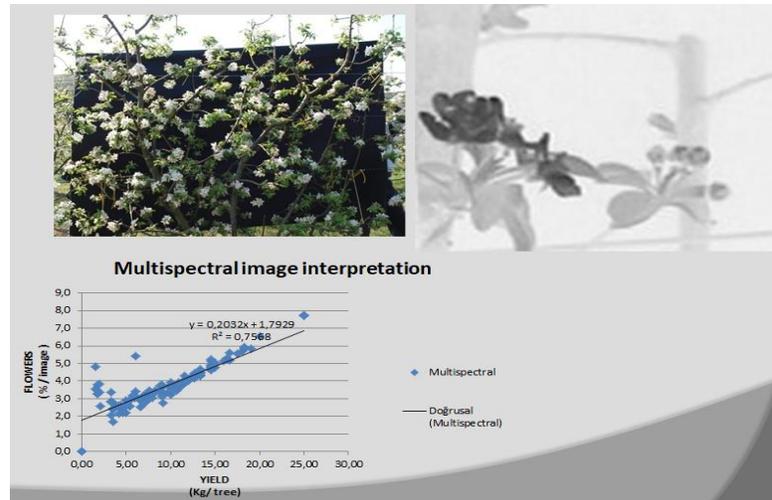


Figura 22. Imagen multispectral de flores para interpretación de rendimiento (Liakos et al.,2017)

5.1.3. Detección de la salud de los cultivos

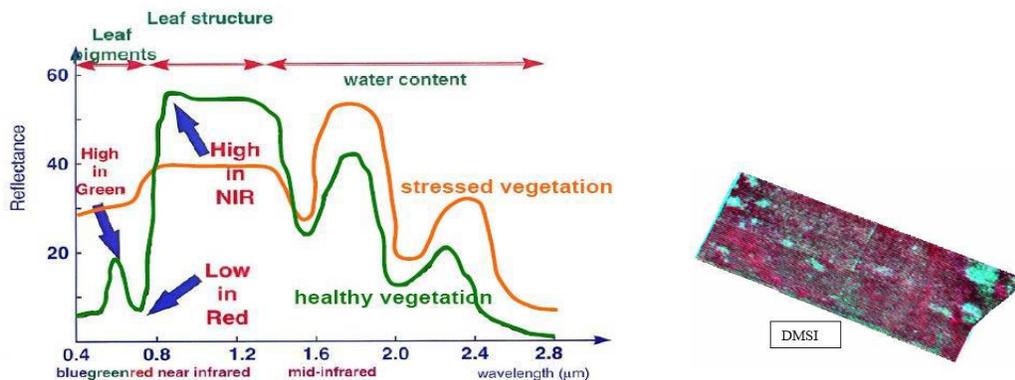
El problema - Solo tratamientos sanitarios preventivos, - La detección potencial debe realizarse muy temprano, - Dificultad para identificar síntomas específicos, - No hay sensores específicos disponibles para la detección de enfermedades, pero la fluorescencia es una posible oportunidad y también se investiga la potencialidad de las imágenes hiperespectrales,

Soluciones actuales: disponibles a gran escala para enfermedades en cultivos perennes

-Floxera (vid),

-Flavescencia (fitoplasma),

Observación a gran escala (> mil ha) para identificar la posible ocurrencia de la enfermedad.



Fuente: http://agrifish.jrc.it/marsstat/db_and_infrastructures/EVMI_remote_sensing_data.pdf

Soluciones actuales a gran escala para cultivos perennes;

Ejemplos: desde 2001, imágenes aéreas anuales de la junta de la industria de la uva de Australia del Sur - Imágenes aéreas NIR, resolución 0,5-1 m. - Se revisa más del 90 % del viñedo,

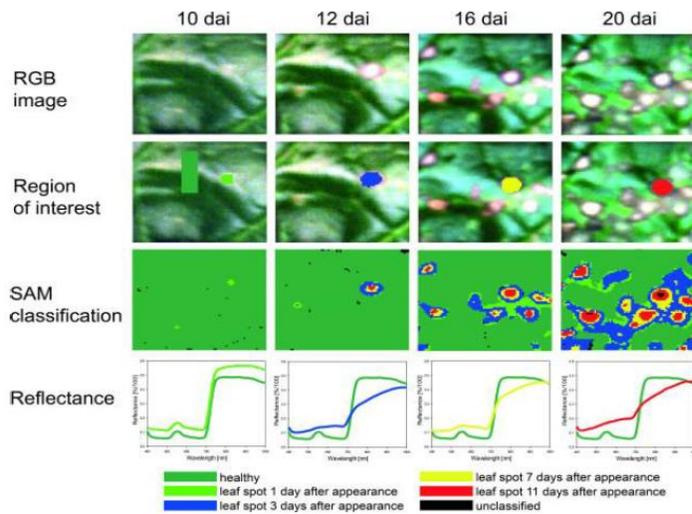
Principio :

- Procesamiento de imágenes (NDVI u otro índice vegetativo),
- Análisis de la imagen por parte de expertos humanos y enlace con la base de datos del propietario (lo más difícil),
- Identificación de posibles síntomas para la inspección de la verdad en tierra

Posibles soluciones futuras: fluorescencia



Hiperespectral (alta resolución espacial)



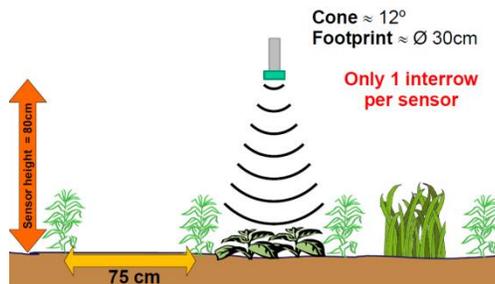
(case of sugar beet)

(Fuentes: Malhein et al., 2013)

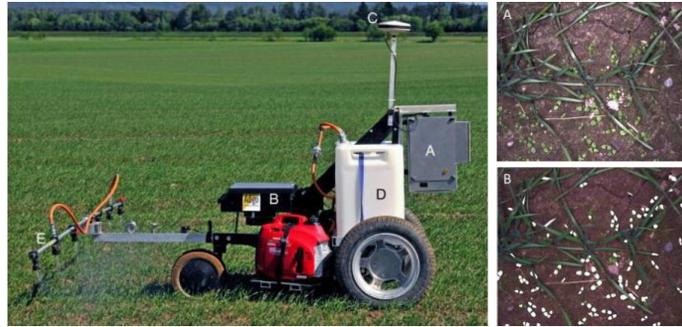
5.1.4. Detección y clasificación de malas hierbas.

- Weed sensors:
 - Presence (optical and ultrasonic)
 - For weed detection and classification
 - Radiometric
 - For weed detection and classification

Detección y alcance ultrasónico de malas hierbas (CIHEAM, 2016)



Detección de malas hierbas RGB (CIHEAM, 2016)

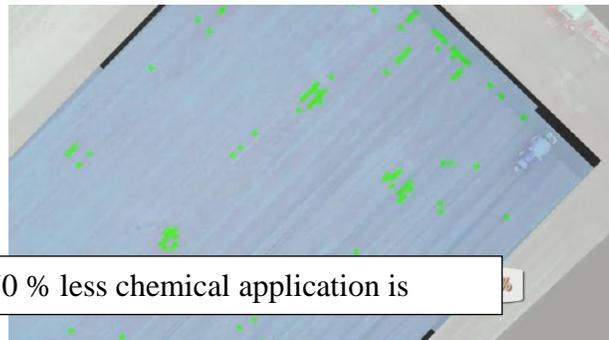


www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169911002602



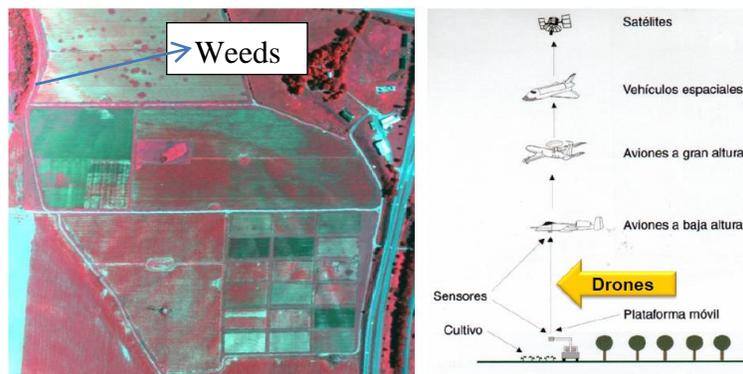
<https://youtu.be/QUmE3WDYyLw>

Detección de malas hierbas RGB desde UAV ((CIHEAM, 2016)

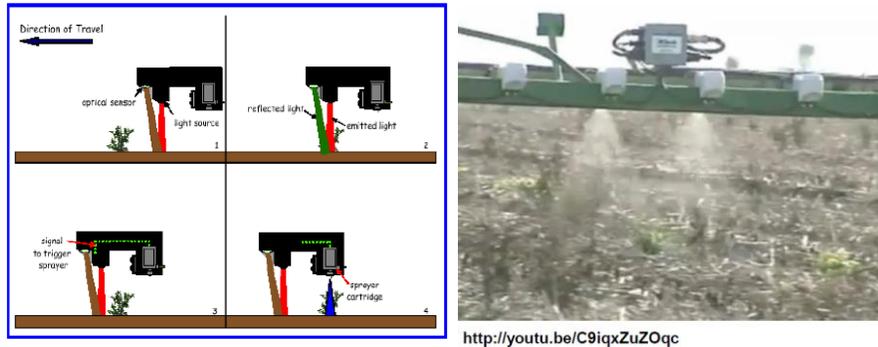


<https://www.youtube.com/watch?v=TjX-FhmdhZc>

Detección de malezas VIS + Detección NIR (CIHEAM, 2016)



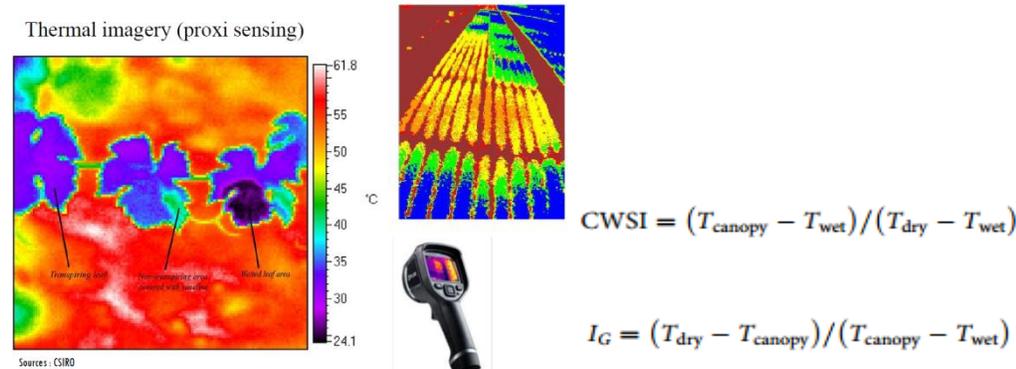
Weedseeker: Detección y fumigación de malas hierbas basado en sensores (CIHEAM, 2016)



<http://youtu.be/C9iqxZuZOqc>

5.1.5. Estrés hídrico

El estrés hídrico ocurre cuando no hay suficiente agua para las plantas. Dado que algunas plantas requieren más agua que otras, algunas pueden sufrir debido a la falta de lluvia, la falta de agua en el suelo o la incapacidad de almacenar suficiente agua para pasar los meses secos. La temperatura del dosel se ha reconocido durante mucho tiempo como un indicador del estado hídrico de las plantas y como una herramienta potencial para la programación del riego. El estado del agua ha sido evaluado por cámara térmica e imágenes desde plataformas móviles o aéreas



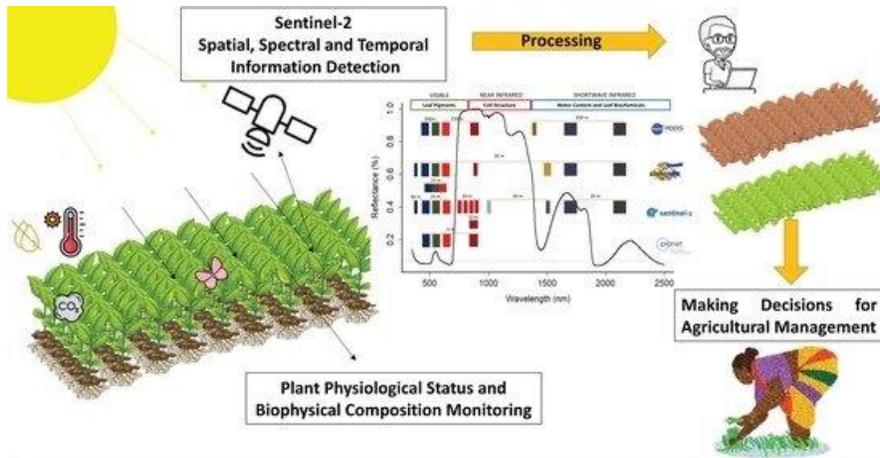
Imágenes térmicas (detección de proximidad) (Jones y Xavier, 2014)

CWSI, IG: índice de estrés hídrico del cultivo

Muchos trabajos encontraron buenas correlaciones entre CWSI, IG y el estado hídrico de la planta.

5.1.6. Seguimiento del rendimiento (índice NDVI y VARI)

Debido a que los sistemas de teledetección ven directamente el componente sobre el suelo del dosel de los cultivos en grandes áreas con la posibilidad de derivar parámetros para cada campo, podrían ser la fuente principal para recopilar información sobre la variabilidad del crecimiento de los cultivos de forma cuantitativa y regular. La vinculación de la información de teledetección y el modelo de simulación de cultivos proporciona una alternativa para mapear el rendimiento de los cultivos a nivel de finca y determinar la causa de la variabilidad en la producción de cultivos.



Remote sensing for agriculture monitoring: Sentinel-2 features and precision agriculture (

6. Procesamiento de datos de sensores: de datos de sensores a información del agricultor

6.1. Aplicaciones de estudios de casos

“Expandingo las Prácticas de Agricultura de Precisión en la Región GAP”

El proyecto se llevó a cabo para llevar a cabo actividades agrícolas de manera efectiva en la región del sudeste de Anatolia. En la primera fase se realizaron análisis con diferentes fuentes de datos de teledetección y medidas espectrales terrestres. Además, se desarrolló un software de aplicación para análisis de agricultura de precisión asistidos por operadores y una interfaz web. En la segunda fase de

el estudio, cuya primera fase ha concluido, tiene como objetivo medir el aumento del rendimiento mediante la aplicación de fertilización variable en la planta de maíz. Su objetivo es difundir los resultados del proyecto primero a la Región GAP y luego a toda Turquía.

Dentro del alcance del proyecto, se planeó trabajar en productos de maíz, algodón y trigo y en esta dirección; Se ha elaborado un plan de actividades y se ha seleccionado un área piloto con una superficie de 1000 hectáreas donde se realizarán los trabajos dentro del alcance de las actividades del proyecto. Se utilizaron varios métodos (imágenes satelitales, cámaras multi/hiperespectrales para usar en plataformas aéreas, espectrómetros, sensores para usar en plataformas terrestres) para aplicaciones de agricultura de precisión en la región piloto determinada para recopilar datos apropiados, analizar e interpretar los datos recopilados. Se llevó a cabo la determinación del patrón de plantas existente y estudios detallados de levantamiento de suelos, y se tomaron y procesaron imágenes satelitales para el patrón de plantas del área piloto. Se llevaron a cabo estudios de recopilación de datos aéreos y terrestres para la adquisición de firmas espectrales. Para el uso eficaz del sistema, se ha desarrollado un software de aplicación con dos interfaces diferentes (nacional, usuario y usuario final), que puede llamarse el primero en Turquía en este sentido, para procesar e interpretar los datos recopilados.

La interfaz web del agricultor, que permite la recopilación de firmas espectrales obtenidas en diferentes momentos en el área piloto, la producción de mapas de aplicación de fertilización y pesticidas, la detección de patrones de productos con un 95% de precisión a partir de imágenes satelitales y aéreas, la predicción del rendimiento, la detección de problemas de desarrollo en las plantas y la entrega de problemas a los agricultores a través de consultores de agricultores. Entre

los principales productos del proyecto se encuentran la integración de imágenes satelitales y la continuidad del sistema, la integración de levantamientos de suelos y mapas de productividad, y el uso de diferentes tipos de datos.

Recopilación de datos

Imágenes de satélite

En el proyecto se utilizan nuestro satélite doméstico Göktürk-2, imágenes gratuitas de los satélites de la NASA y la ESA: Landsat 8, EO-1 Hyperion, Sentinel-1, Sentinel-2 y los satélites comerciales SPOT 6/7, TerraSAR-X, RapidEye. Algunas de las imágenes se pueden proporcionar como preprocesadas, mientras que otras imágenes se preparan para el análisis mediante correcciones radiométricas y geométricas. Las diferencias en las resoluciones temporales, terrestres y espectrales de los satélites utilizados proporcionan una ventaja para acceder a diferente información simultáneamente. Por ejemplo, mientras que el satélite Göktürk-2 con una resolución terrestre de 2,5 metros, que está planificado para tomar imágenes a pedido, puede ser fotografiado una vez al mes en promedio, los satélites Sentinel-2 con una resolución terrestre de 10 metros brindan una imagen cada cinco días. La continuidad de los análisis del desarrollo de las plantas se garantiza mediante el uso de imágenes SAR en lugar de imágenes electro-ópticas, que no se pueden utilizar especialmente en los meses de primavera cuando las precipitaciones son intensas. Mediante el uso de imágenes satelitales electroópticas, SAR e hiperspectrales que cubren áreas de estudio seleccionadas en la llanura de Harran, se llevaron a cabo análisis temporales basados en el desarrollo fenológico de las plantas cultivadas en la región.

Imágenes aéreas

En el área piloto del proyecto, se realizaron 10 imágenes aéreas hiperspectrales (HS) en fechas predeterminadas, teniendo en cuenta los períodos de desarrollo vegetativo de la región. VNIR HS Cámara aérea NEO Hypspec VNIR-1800, SWIR HS Cámara aérea NEO Los sensores Hypspec SWIR-384 se utilizan para imágenes hiperspectrales. En la Figura 23 se muestra un ejemplo de imagen VNIR HS.

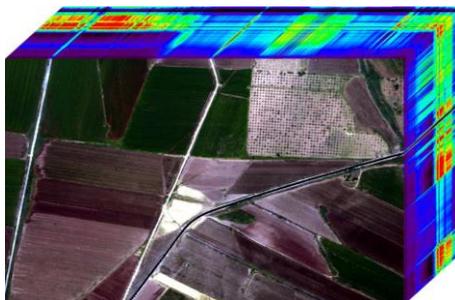


Figura 23. Cubo de datos hiperspectrales VNIR (Teke et al., 2019)

Recopilación de datos de campo

Dentro del alcance de los estudios de muestreo de suelo, se crearon cuadrículas de “60 metros x 60 metros” y se recolectaron 170 muestras de suelo. Se abrió un pozo de perfil de 1,5 metros para cada área piloto a aplicar con los estudios de reconocimiento y se llevó a cabo el examen. Se determinaron propiedades como la textura del suelo, el pH, el peso volumétrico, la salinidad, la alcalinidad, la cantidad de cal, la cantidad de materia orgánica, el nitrógeno, el estado disponible de fósforo/postasio/microelementos, y se cartografió el contenido de nutrientes del suelo. Los tipos de suelo en el área de estudio se prepararon en el mapa (Figura 24).



Figura 24. Visualización de tipos de suelo en el área de estudio en la interfaz del agricultor (Teke et al., 2019)

Además de las firmas espectrales del maíz y el algodón, se recogieron firmas espectrales de otras plantas que crecen en la región, como malas hierbas, vid, pimienta, maní y trigo. El espectrómetro ASD QualitySpec-Trek se utilizó para recopilar firmas espectrales. La estación meteorológica se dedicó a medir la humedad, la cantidad de precipitación, el viento, la temperatura y la presión en sincronía con las actividades de recopilación de datos desde el suelo.

ANÁLISIS AGRÍCOLA DE PRECISIÓN

El objetivo principal del paquete de trabajo de análisis de agricultura de precisión era analizar las actividades de fertilización iniciales y finales. Además, se obtuvo conocimiento que ayudó a las actividades del proyecto y se utilizó en las etapas posteriores del proyecto: requisito de fertilizante base, requisito de fertilizante superior, estimación de rendimiento, detección de malezas, detección de anomalías, mapa de patrones de cultivo.

Mapeo de patrones de cultivo

En el proyecto se ha mejorado el sistema de detección de productos desarrollado para productos de trigo, maíz y algodón para incluir otros productos cultivados en la región como garbanzos y lentejas. Las imágenes hiperespectrales se clasificaron mediante métodos de filtro coincidente y mapeador de ángulo espectral (SAM). En la clasificación de imágenes satelitales se utilizaron datos de series de tiempo, deformación dinámica del tiempo (DTW) y métodos SVM (Figura 25). Dentro del alcance del proyecto, se produjeron mapas de patrones de productos con imágenes hiperespectrales y de satélite e imágenes SAR.

Mapeo y aplicación de fertilizantes iniciales y superiores

En el proyecto, la información sobre el estado de salud actual de las plantas se obtuvo tanto de la fertilización basada en mapas como de fotografías aéreas e imágenes satelitales, y se realizaron aplicaciones de fertilizantes de tasa variable durante el proceso de aplicación de fertilizantes de fondo y de techo. Al correlacionar los análisis realizados con UAV e imágenes satelitales y mediciones de clorofilómetro, se produce un mapa superior de fertilización para el maíz a partir de imágenes satelitales.

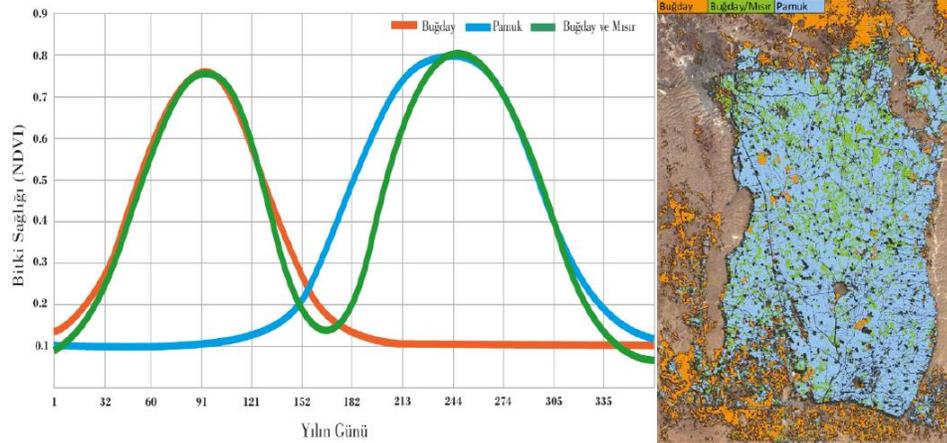


Figura 25. Fenología de cultivos cultivados en la llanura de Harran y mapa de patrones de cultivo obtenido de imágenes satelitales Landsat 8 (Teke et al., 2019).

Detección de anomalías

La detección de anomalías es importante para estudiar los procesos espacio-temporales de cambios en la cobertura del suelo. Las regiones anómalas en las imágenes satelitales pueden reflejar cambios inesperados en la cobertura del suelo, como el aumento de las aguas subterráneas, enfermedades y sequías. La detección de regiones anómalas en series temporales de imágenes satelitales es muy importante para examinar los procesos dinámicos en los cambios de la cobertura terrestre. Aunque se han desarrollado muchos métodos de análisis de series temporales para la detección de cambios en la cobertura del suelo, pocos métodos, según nuestro conocimiento, se centran en la detección de anomalías en series temporales de imágenes de satélite. Aunque se han desarrollado varios métodos para detectar cambios en la cobertura del suelo utilizando series temporales de imágenes satelitales, generalmente están diseñados para detectar cambios repentinos en la cobertura del suelo entre años específicos.

Detección de malezas

Las malas hierbas aparecen de forma natural con las plantas y provocan importantes pérdidas de rendimiento y daños económicos. En la segunda fase del proyecto, se realizó la separación de malezas y plantas con imágenes de UAV e imágenes satelitales de alta resolución para ser tomadas durante el desarrollo de la planta, y se elaboraron mapas de control de malezas. Especialmente, se prefieren las imágenes de UAV de muy alta resolución para la detección de malas hierbas; Se ve que se ha generalizado el uso de la inteligencia artificial en la detección de malas hierbas, junto con métodos como la clasificación basada en objetos y el uso de diferentes índices, y se han comenzado a automatizar las soluciones.

Software de aplicación e interfaz de consultor de agricultores

Con el Software Aplicativo de Agricultura de Precisión desarrollado, análisis que apoyarán la toma de decisiones en temas como necesidades de riego, fertilización y fumigación (Figura 26.). El análisis de productos de trigo, maíz y algodón ampliamente cultivados en la Región GAP, fotografías aéreas hiperespectrales, electro-ópticas y SAR se pueden realizar utilizando imágenes satelitales. La clasificación se puede hacer automáticamente y mediante la recopilación de firmas de la imagen, se pueden realizar detecciones de anomalías generales y de plantas con fotografías aéreas hiperespectrales, el desarrollo de plantas se puede monitorear con algoritmos de índice NDVI, LAI y NDI. Los análisis realizados con Farmer Advisor Interface son interpretados por consultores agrícolas y entregados al agricultor (Figura 4). Se realizan análisis de las imágenes y

parcelas seleccionadas a través de la interfaz web, facilitando la comunicación entre el consultor agrícola y el agricultor.



Figura 26. Software de aplicación e interfaz web para agricultores (Teke et al., 2019)

6.2. Procesamiento de datos en tiempo real

El sistema de adquisición de datos de tierras agrícolas consta de tres componentes principales:

- **Piezas de adquisición** Las piezas de adquisición constan de varios sensores. En el equipo de adquisición de campo diseñado por nosotros, los datos de índice que se pueden recopilar y usar directamente en modelos de simulación de cultivos son: datos meteorológicos: que incluyen temperatura máxima y mínima del aire, precipitación, intensidad de radiación; datos del suelo: incluida la temperatura del suelo, la humedad estratificada del suelo. Los dispositivos de adquisición también pueden recopilar otros indicadores como el dióxido de carbono, la intensidad de los rayos ultravioleta y la velocidad del viento, así como la cámara de control remoto de imágenes dinámicas y estáticas. Cabe señalar en particular que la adquisición de datos del suelo aplica un diseño jerárquico de humedad del suelo y organiza un sensor de humedad del suelo cada 10 cm de acuerdo con las necesidades del modelo de cultivo para la adquisición en tiempo real de la humedad estratificada del suelo, que definitivamente no pudo entrar el pasado.

- **Sistema de transmisión**

El sistema de transmisión consta de componentes de almacenamiento y comunicación inalámbrica. Su función es el almacenamiento temporal en el sitio de los datos del sensor recopilados y la transferencia de estos datos al servidor del usuario remoto a través de la red de comunicación inalámbrica y el volcado. Los modos de transmisión se clasifican según la naturaleza de la transferencia de datos, para ahorrar costos de comunicaciones. Los datos de texto aplican comunicaciones 2G, es decir, la transmisión de SMS. Actualmente, las imágenes estáticas y dinámicas utilizan transmisión de comunicación 3G y 4G.

- **Sistema de Gestión de Software**

El sistema de gestión de software incluye conversión de formato de datos (conversión de datos en un archivo que pueden leer los modelos de cultivos), control de dispositivos de adquisición (control

remoto del tiempo y la frecuencia de adquisición, ajuste del ángulo de la cámara, etc.) y análisis estadístico de datos y iconos de salida y otros módulos de funciones.

El sistema de adquisición de tierras de cultivo en tiempo real introduce la adquisición en tiempo real de imágenes dinámicas y estáticas, y puede llevar a cabo una investigación de morfología tridimensional del patrón de crecimiento de cultivos a través del análisis y el procesamiento de imágenes por computadora de las imágenes adquiridas. Mientras tanto, el agricultor puede analizar la tendencia de crecimiento de los cultivos, la situación de las plagas de los cultivos y tomar las medidas de gestión adecuadas con imágenes en tiempo real.

7. Sistema de información de gestión de fincas.

Los sistemas de información de gestión de fincas (SIAF) han avanzado desde simples sistemas de mantenimiento de registros de fincas hasta sistemas grandes y complejos en respuesta a la necesidad de comunicación y transferencia de datos entre bases de datos para cumplir con los requisitos de las diferentes partes interesadas. Los SIAF son herramientas electrónicas para la recopilación y el procesamiento de datos para proporcionar información de valor potencial en la toma de decisiones de gestión (Boehlje y Eidman 1984). Existen cuando los principales responsables de la toma de decisiones utilizan la información proporcionada por un sistema de registro agrícola para respaldar su toma de decisiones comerciales (Lewis 1998). En una expresión más detallada, SIAF se define como un sistema planificado para recopilar, procesar, almacenar y difundir datos en la forma necesaria para llevar a cabo operaciones y funciones agrícolas (Sørensen et al. 2010). Los componentes esenciales del SIAF incluyen diseños específicos orientados a los agricultores, interfaces de usuario dedicadas, funciones de procesamiento de datos automatizado, conocimiento experto y preferencias del usuario, comunicación de datos estandarizados y escalabilidad.

La agricultura es un sistema complejo que incorpora una serie de interacciones entre agricultores, asesores, comerciantes, organismos gubernamentales, maquinaria agrícola, regulaciones ambientales, estimaciones económicas y otros. Este sistema se ha resumido en forma de una rica imagen en la Figura 27 que muestra además de las interacciones. SIAF puede cubrir una gran cantidad de funciones, como inventario, calendario, ventas directas y funciones de administración específicas del sitio. Un conjunto de 10 funciones fue presentado por Fountas et al. (2015a) y se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Sistemas de información de gestión agrícola (Fountas et al. 2015a)

Function title	Function description
Field operations management	Recording of farm activities to help farmer optimize crop production by planning activities and observing the actual execution of planned tasks. Preventive measures may be initiated based on the monitored data.
Best practice (including yield estimation)	Production tasks and methods related to applying best practices according to agricultural standards (e.g. organic standards, integrated crop management (ICM)). A yield estimate is feasible through the comparison of actual demands and alternative possibilities, given hypothetical scenarios of best practices.
Finance	Estimation of the cost of every farm activity, input–outputs calculations, equipment charge-outs, labour requirements per unit area. Projected and actual costs are also compared and input into the final evaluation of the farm’s economic viability.
Inventory	Monitoring and management of all production materials, equipment, chemicals, fertilizers, and seeding and planting materials. The quantities are adjusted according to the farmer’s plans and customer orders.
Traceability	Crop recall, using an ID labelling system to control the produce of each production section, including use of inputs, employees and equipment, which can be easily archived for rapid recall.
Reporting	Creation of farming reports, such as planning and management, work progress, work sheets and instructions, orders purchases, cost reporting and plant information.
Site-specific	Mapping the features of the field, analysis of the collected data, generation of variable-rate inputs to optimize input and increase output. This is the Precision Farming Technologies component. It could be separate software or integrated.
Sales	Management of orders, charges for services and online sales.
Machinery management	Includes the details of equipment usage, the average cost per work-hour or per unit area. It also includes fleet management and logistics.
Human resource management	Employee management, availability of employees in time and space, handling work times, payment, qualifications, training, performance and expertise.

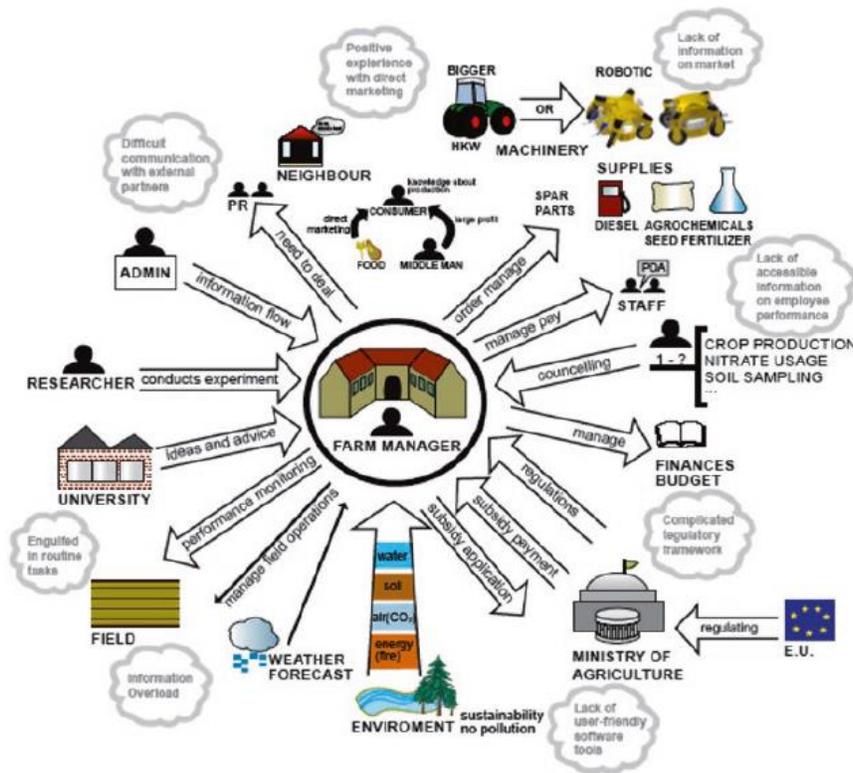


Figura 27. Imagen enriquecida de un sistema de información de gestión agrícola (Pedersen y Lind, 2017)

El proceso de recopilación de datos está relacionado con estos elementos representados en la Figura

54 28: (1) el tiempo que dedican los recursos humanos a los cultivos, (2) el tiempo que dedican las máquinas (por ejemplo, un tractor) o el equipo (por ejemplo, un dispositivo de agricultura de precisión) a cada cultivo, (3) el uso de servicios externos en términos de costos y tiempo y (4) la cantidad de recurso distribuido en cada cultivo, en un tiempo y posición específicos.

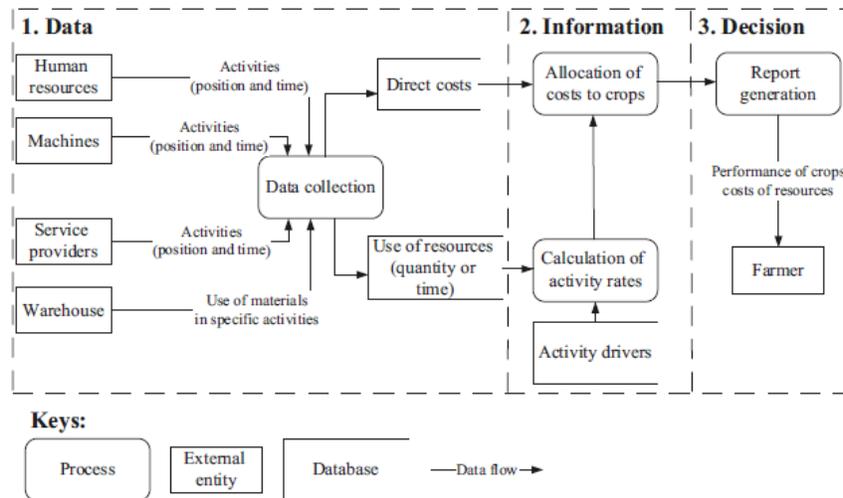


Figura 28. Diagrama de flujo de datos de la asignación de costos en cultivos (Pedersen y Lind, 2017)

8. Fotogrametría

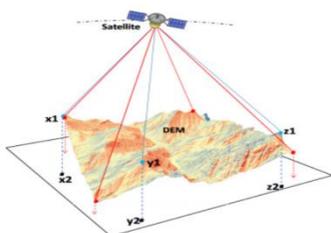
La fotogrametría es el arte, la ciencia y la tecnología de obtener información confiable sobre objetos físicos y el medio ambiente a través de procesos de registro, medición e interpretación de imágenes fotográficas y patrones de energía electromagnética radiante registrada y otros fenómenos. La fotogrametría es casi tan antigua como la propia fotografía. Desde su desarrollo hace aproximadamente 150 años, la fotogrametría ha pasado de ser una técnica óptico-mecánica puramente analógica a métodos analíticos basados en la solución asistida por computadora de algoritmos matemáticos y, finalmente, a la fotogrametría digital o de copia electrónica basada en imágenes digitales y visión por computadora, que carece de cualquier hardware opto-mecánico. La fotogrametría se ocupa principalmente de realizar mediciones precisas de objetos tridimensionales y características del terreno a partir de fotografías bidimensionales. Las aplicaciones incluyen la medición de coordenadas; la cuantificación de distancias, alturas, áreas y volúmenes; la elaboración de mapas topográficos; y la generación de modelos digitales de elevación y ortofotografías.

Existen dos tipos generales de fotogrametría: aérea (con la cámara en el aire) y terrestre (con la cámara en mano o sobre un trípode). Fotogrametría terrestre que se ocupa de distancias de objetos de hasta aprox. 200 m también se denomina fotogrametría de corto alcance. La fotogrametría aérea de formato pequeño tiene lugar en cierto modo entre estos dos tipos, combinando el punto de vista aéreo con distancias cercanas al objeto y gran detalle de la imagen.

La fotogrametría es una disciplina que se desarrolló durante muchas décadas y se ocupa de la georreferenciación precisa de fotografías aéreas, así como de imágenes satelitales basadas en el espacio (a veces simplemente ortoimágenes) y su medición. La ortorrectificación definitivamente

55 aumentará la precisión del cálculo del área de diferentes clases de uso y cobertura del suelo. Las posiciones de la imagen de los objetos del suelo se muestran desplazadas debido a la diferencia de elevación. Este tipo de distorsión se denomina relieve-desplazamiento. El desplazamiento del relieve entre puntos se puede estimar utilizando algunos principios básicos de fotogrametría como la medición de paralaje. La información de paralaje se puede utilizar para hacer que la imagen sea ortográfica, con cada punto en su ubicación correcta en relación con otros puntos, independientemente de la elevación (Schowengerdt, 2006). La distorsión del punto de vista se eliminó de tal manera que se suponía que cada punto en el suelo se veía directamente desde la posición fuera del nadir del centro óptico de los sensores del satélite. El desplazamiento del terreno requiere valores de cuadrícula de elevación que se hayan utilizado para la corrección de imágenes de teledetección. Esta cuadrícula espacial de datos de elevación se conoce como elevación digital. El modelo (DEM), el modelo de elevación digital (DEM) se pueden procesar con imágenes de pares estéreo digitales con una superposición de más del 60 por ciento. En la fase anterior de la teledetección, los DEM tenían una resolución muy gruesa. La resolución mejora con el avance de las técnicas de diseño de sensores (Schowengerdt, 2006). Ahora 30 m DEM de SRTM y ASTER están disponibles gratuitamente.

El diagrama esquemático muestra los atributos de los terrenos con altitud que gana desplazamiento de relieve. Un punto en la altura (x_1, y_1, z_1) parece estar en otro lugar (x_2, y_2, z_2) que la posición real (figura 14.7). Se ha designado una malla de elevación digital para obtener la fuente de elevación que luego se ha integrado a la imagen de satélite para la ortorrectificación.



www.spaceoffice.nl/nl/satellietdataportal/uitleg-data/orthorectificatie/>

Índices de Teledetección y Significación

La información de sensores remotos sobre el crecimiento, el vigor y su dinámica de la vegetación terrestre puede proporcionar información extremadamente útil para aplicaciones en el monitoreo ambiental y la agricultura. Índices de teledetección como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el Índice de Agua Superficial Terrestre (LSWI), el Índice de Sequedad de Temperatura-Vegetación (TVDI), el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), el Índice de Déficit de Agua (WDI), etc. obtenidos de imágenes satelitales son útiles para derivar el estado de desarrollo del cultivo y/o el estado de humedad del suelo. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) calcula la densidad de la vegetación mediante la evaluación de la variación entre el infrarrojo cercano (que la vegetación devuelve poderosamente) y la luminosidad roja (que atrae la vegetación). Además, el índice de agua superficial terrestre (LSWI) emplea las zonas de infrarrojo de onda corta (SWIR) y de infrarrojo cercano (NIR) del rango electromagnético. Además, el Índice de Sequedad de Temperatura-Vegetación (TVDI) se obtiene de la Temperatura de la Superficie Terrestre-NDVI espacial y se puede emplear como marcador de la humedad del suelo y, por lo tanto, de la presión del agua de la vegetación. El SAVI (Índice de Vegetación Ajustado al Suelo) tiene en cuenta las características visuales del suelo sobre la reflectancia de la cubierta vegetal.

Al evaluar la diferencia de rango de plantas infectadas y vigorosas, los científicos pueden reconocer la potencia de estrés del follaje verde (Tabla 5).

Tabla 5. Principales Índices Espectrales de Vegetación utilizados en Agricultura

Index	Equation	Usefulness
NG	$G / (NIR+R+G)$	Carotenoids, anthocyanins, xanthophylls
NR	$R / (NIR+R+G)$	Chlorophyll
DVI	$NIR-R$	Soil reflectance
GDVI	$NIR-G$	Chlorophyll, N status
NDVI	$(NIR-R) / (NIR+R)$	Vegetation cover
GNDVI	$(NIR-G) / (NIR+G)$	Chlorophyll and photosynthesis, N status

Abbreviation: A=adapted, D=difference, G=green, N=normalized, NIR=near-infrared, R=red, RVI=Ratio Vegetation Index, VI= Vegetation Index.

La agricultura juega un papel dominante en las economías de los países desarrollados y subdesarrollados. Las imágenes satelitales y aéreas se utilizan como herramientas de mapeo para clasificar los cultivos, examinar su salud y viabilidad y monitorear las prácticas agrícolas. Las aplicaciones agrícolas de la teledetección incluyen las siguientes:

- Clasificación del tipo de cultivo
- Evaluación de la condición del cultivo
- Estimación del rendimiento de cultivos
- Mapeo de las características del suelo
- Mapeo de prácticas de manejo del suelo
- Supervisión del cumplimiento (prácticas agrícolas)
- Monitoreo de Plagas y Enfermedades

Referencias

- Anónimo. (2007). Trazabilidad de los alimentos. Dirección de la Comisión Europea - Ficha informativa general https://ec.europa.eu/food/system/files/2016-10/gfl_req_factsheet_traceability_2007_en.pdf
- Barrero O y Perdomo S A. (2018). Precision Agriculture 19 (5), 809-822, 46: 2018: Detección de malas hierbas en arrozales mediante imágenes aéreas y redes neuronales.
- Barrero, O., & Perdomo, SA (2018). Fusión de imágenes RGB y UAV multiespectrales para la detección de malezas Gramineae en campos de arroz. Agricultura de precisión, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9558-x>
- Burkart, A., Hecht, VL, Kraska, T. y Rascher, U. (2018). Análisis fenológico de series temporales de imágenes de cebada basadas en vehículos aéreos no tripulados con alta resolución temporal. Agricultura de precisión, 19(1), 134-146. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9504-y>
- Castaldi F, Pelosi F, Pascucci S y Casa R. (2017). Precision Agriculture 18 (1), 76-94, 2017. 93: Una comparación de la resolución del sensor y las estrategias de calibración para la estimación de la textura del suelo a partir de la teledetección hiperespectral.
- CIHEAM' - IAMZ. (2016). Apuntes del curso sobre 'USO DE SENSORES EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN. Zaragoza (España), 7-12 de marzo de 2016
- Fountas S, Carli C, Sørensen CG, Tsiropoulos Z, Cavalaris C, Vatsanidou A, Liakos B, Canavari M, Wiebensohn J, Tisserye B (2015a) Sistemas de información de gestión agrícola: situación actual y perspectivas futuras. Comput Electron Agric 115: 40-50
- Fulton, J., E. Hawkins, R. Taylor y A. Frazen. 2018. Monitoreo y mapeo de rendimiento. En: DK Shannon, DE Clay y NR Kitchen, editores, Principios básicos de la agricultura de precisión. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.
- García R y Lunadai L. (2011). El papel de RFID en la agricultura: aplicaciones, limitaciones y desafíos. Informática y Electrónica en la Agricultura, DOI:10.1016/J.COMPAG.2011.08.010.
- Gemtos, T. 2012. Aplicaciones de agricultura de precisión en cultivos de alto valor. Notas de lectura. Laboratorio de Mecanización Agrícola, Universidad de Tesalia, Grecia.
- Grifo, tw, JM shockley, y tuberculosis Marca. 2018. ecológicoeconomía de precisión agricultura. En: no sé Shannon, DE Clay y NR Kitchen, editores, Precision agricultura lo esencial. COMO UN, CSSA, SSSA, madison, WISCONSIN.
- Güçdemir İ y Türker U (2010). Gestión de fertilizantes de tasa variable con el apoyo de tecnologías de la información y basadas en satélites en maíz de regadío en la región de Çukurova. Proyecto apoyado por TÜBİTAK-1001 Proyecto No: TOVAG-1050243.
- Handique, BK, Khan, AQ, Goswami, C., Prashnani, M., Gupta, C. y Raju, PLN (2017). Discriminación de cultivos utilizando un sensor multiespectral a bordo de un vehículo aéreo no tripulado. Actas de la Academia Nacional de Ciencias, India Sección A: Ciencias Físicas, 87(4), 713-719. <https://doi.org/10.1007/s40010-017-0443-9>
- Hunt, ER, Horneck, DA, Spinelli, CB, Turner, RW, Bruce, AE, Gadler, DJ, ... Hamm, PB (2018). Monitoreo del estado de nitrógeno de las papas utilizando pequeños vehículos aéreos no tripulados. Agricultura de precisión, 19(2), 314-333. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9518-5>

Joel Segarra, María Luisa Buchailot, José Luis Araus y Shawn C. Kefauver (2020). Detección remota para agricultura de precisión: funciones y aplicaciones mejoradas de Sentinel-2. *Agronomía*, 2020, 10, 641; doi:10.3390/agronomy10050641.

Jones, G y Sirault, Xavier, S. 2014. Imágenes para la agricultura de precisión: el problema de los píxeles mixtos con especial referencia a las imágenes térmicas. 9.^a Conferencia de la Federación Asiática de Tecnología de la Información en la Agricultura, Perth, Australia, 29 de septiembre - 2 de octubre de 2014.

Jiménez-Brenes, FM, López-Granados, F., de Castro, AI, Torres-Sánchez, J., Serrano, N., & Peña, JM (2017). Cuantificación de los impactos de la poda en la arquitectura del olivo y el crecimiento anual de la copa mediante el uso de modelos 3D basados en UAV. *Métodos de plantas*, 13(1), 55. <https://doi.org/10.1186/s13007-017-0205-3>

Krienke, B., Ferguson, RB, Schlemmer, M., Holland, K., Marx, D. y Eskridge, K. (2017). Uso de un vehículo aéreo no tripulado para evaluar la variabilidad del nitrógeno y el efecto de la altura con un sensor de dosel de cultivo activo. *Agricultura de precisión*, 18(6), 900-915. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9534-5>

Leonard, E y Philip, P. 2006. Manual de agricultura de precisión (GRDC). ISBN 1-876477-65-9.

Liakos V, Tagarakis A, Aggelopoulou K, Fountas S, Nanos GD y Gemtos T (2017). Predicción durante la temporada de la variabilidad del rendimiento en un huerto de manzanas. *EUR. J. Hortic. ciencia* 82(5), 251-259.

Malhein A, Christian Hillnhütter, Thorsten Mewes, Christine Scholz, Ulrike Steiner, Heinz-Wilhelm Dehne, Erich-Christian Oerke. (2009). Detección de enfermedades en campos de remolacha azucarera: un enfoque multitemporal y multisensorial a diferentes escalas. *Actas de SPIE - Sociedad Internacional de Ingeniería Óptica · Septiembre de 2009.*

McBRATNEY A, Whelan B, Ancev T y Bouma J. Direcciones futuras de la agricultura de precisión. *Agricultura de precisión*, 6, 7-23, 2005.

Oger R y Buffed D. (2010). Geotrazabilidad: Un concepto innovador para potenciar la trazabilidad convencional en la cadena agroalimentaria. *Biotecnología, Agronomía, Sociedad y Medio Ambiente* 14(4).

Oldeland, J., Große-Stoltenberg, A., Naftal, L. y Strohbach, BJ (2017). El potencial de las características de imagen derivadas de UAV para discriminar especies de árboles de sabana. En *Las funciones de la teledetección en la conservación de la naturaleza* (págs. 183-201). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64332-8_10

Opara, LU (2003). Trazabilidad en la agricultura y la cadena de suministro de alimentos: una revisión de conceptos básicos, implicaciones tecnológicas y perspectivas futuras. *Revista europea de investigación operativa* 1(1).

Pedersen SM, Fountas S, Blackmore BS, Gylling M, Pedersen JL (2004) Adopción y perspectivas de la agricultura de precisión en Dinamarca. *Acta Agric Scand Sect B - Suelo Planta Sci* 54(1):2-8

Pedersen SM y Lind KM. (2017). Agricultura de Precisión: Tecnología y Perspectivas Económicas. *Avances en Agricultura de Precisión*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68715-5>

Peets S, Casparin C, Blackburn K y Godwin R. (2009). Etiquetas RFID para identificar y verificar agroquímicos en sistemas de trazabilidad de alimentos Octubre 2009 *Precision Agriculture* 10(5):382-394.

Romero, M., Luo, Y., Su, B., & Fuentes, S. (2018). Estimación del estado del agua del viñedo utilizando imágenes multiespectrales de una plataforma UAV y algoritmos de aprendizaje automático para la gestión de la programación del riego. *Computadoras y Electrónica en Agricultura*, 147, 109-117. <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.02.013>

- Salem, R. 2007. GNSS para Agricultura de Precisión, METIS Second Master Training and Seminar, El Cairo (Egipto).
- Sauer B, Wells T, Wells M, Neale T y Smart A (2010). Aplicación de PA por Precision Cropping Technologies Pty Ltd. Habilitado por fondos de GRDC para el proyecto Agricultura de precisión: creación de conocimiento, vinculación de la agronomía, beneficio de los productores. Formación práctica para resultados prácticos.
- Schut AGT, Traore PCS, Blaes X, de By RA (2018) Evaluación del rendimiento y la respuesta del fertilizante en campos heterogéneos de pequeños propietarios con UAV y satélites. Cultivos de campo Res 221: 98-107.
- Gestión específica del sitio utilizando tecnologías de tarifa variable. www.newaginternational.com. Precision Ag Corner (New Ag International 64, en noviembre-diciembre de 2016).
- Schowengerdt, RA (2006) Teledetección: Modelos y Métodos para el Procesamiento de Imágenes. Prensa Académica, Waltham.
- Sparling, LC, Wei, JC y Avallone, LM (2006). Estimación del impacto de la variabilidad a pequeña escala en la validación de mediciones satelitales. Revista de Investigación Geofísica 111: doi: 10.1029/2005JD006943. ISSN: 0148-0227.
- Velazquez E, Acevedo O, Sandoval A, Trejo H and Palacios A. (2020). Estrategias tecnológicas de bajo costo para la sostenibilidad de los pequeños productores: una revisión. J. Tecnología. Administrar innovador 2020. Volumen 15, Número 1.
- Teke M, Mutlu N, Türker U, Çullu MA, Küpçü R, Bozgeyik F, Demirpolat C, Öztoprak AF, Devenci HS y Demirhan I H. (2019). Aplicación generalizada de prácticas sostenibles de agricultura de precisión en la región del proyecto del sureste de Anatolia (GAP). Conferencia Internacional sobre Tecnologías Informáticas y Aplicaciones en la Alimentación y la Agricultura (ICCTAFA). Páginas 107-115. Konya-Turquía.
- Türker U y Güçdemir İ. 2018. Aplicación de sensor para nitrógeno de tasa variable en campo de maíz. Revista de Ciencias de la Maquinaria Agrícola. Tomo 14. Número 1, pp.40-45.

PREGUNTAS PARA IO3

1. ¿Cuál de las siguientes definiciones describe mejor la agricultura de precisión?
 - a) Se realizan aplicaciones homogéneas en todos los puntos del campo agrícola
 - b) Las aplicaciones específicas del sitio se realizan cuando es necesario en el campo agrícola.
 - c) Requiere aplicaciones promedio en todo el campo agrícola
 - d) Requiere altas aplicaciones en todo el campo agrícola.

2. ¿Cuál de las siguientes no es una variabilidad espacial?
 - a) Variaciones en el cultivo
 - b) Variación en las propiedades físicas del suelo
 - c) Variaciones en las propiedades químicas del suelo
 - d) Condiciones climáticas

3. El elemento más importante que distingue la agricultura de precisión de la agricultura clásica
 - a) Gestiona insumos en base a información específica
 - b) Basado en información promedio
 - c) Tiene una perspectiva homogénea
 - d) Basado en aplicaciones aleatorias

4. Un componente de la “agricultura de precisión” es la variabilidad temporal. ¿Cuál de los siguientes describe mejor este cambio?
 - a.) El proceso natural es reemplazado por insumos sintéticos.
 - b.) El efecto de los cambios de temperatura en la disponibilidad de agua y nutrientes.
 - c.) La relación entre la temperatura superficial del suelo (0-15 cm) y la temperatura del subsuelo (15-60 cm), que afecta el desarrollo del cultivo.
 - d.) Las diferencias entre el desarrollo de los cultivos y los requisitos de nutrientes cambian de un período a otro (año a año).

5. ¿Cuál de las siguientes longitudes de onda de reflexión utiliza uno de los índices de vegetación más conocidos, NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada)?
 - a) Verde-NIR
 - b) Azul-NIR
 - c) Rojo-NIR
 - d) NIR solamente

6. ¿Qué sucede cuando los espectrómetros detectan una planta sana?
 - a) Absorbe más longitudes de onda del infrarrojo cercano, refleja más en bandas de ondas visibles
 - b) Refleja más longitudes de onda del infrarrojo cercano, absorbe más en bandas de ondas visibles
 - c) Absorbe más en las bandas de ondas visibles y refleja más en las bandas de ondas del infrarrojo cercano.
 - d) Se refleja más en las bandas de ondas visibles y más en las bandas de ondas del infrarrojo cercano.

7. ¿Cuántos satélites se requieren para estar conectados para una medición completa con GNSS y GPS?
 - a) 2 satélites b) 3 satélites c) 4 satélites d) 1 satélite

8. ¿Cómo se llama el error que se produce en las señales reflejadas desde una fuente secundaria, es decir, desde alturas como hangares o silos en trabajos con GPS?
 - a) Errores satelitales b) Errores atmosféricos c) Errores del receptor d) Errores de trayectos múltiples

9. ¿Cómo se llama el cambio incremental más pequeño que se puede detectar en la señal de salida, que se puede detectar en las lecturas de datos realizadas con los sensores?

- a) Precisión
- b) Precisión
- c) Resolución
- d) Error

10. ¿Cuál de las siguientes es una aplicación en tiempo real para aplicaciones de tasa variable?

- a) Aplicación basada en mapas
- b) Aplicación basada en sensores
- c) Aplicación homogénea
- d) Estimación basada en modelos y luego aplicación

11. ¿Cuál debe ser el nivel del coeficiente de variabilidad para aumentar la probabilidad de recuperación de la inversión realizada para la tecnología de aplicación de tasa variable?

- a) $5\% \leq$
- b) $> 5\% \text{ y } \leq 10$
- c) $> 10\% \text{ y } < 15\%$
- d) $\geq 15\%$

12. ¿Qué característica terrestre da el índice LSWI obtenido usando las regiones de onda corta infrarroja (SWIR) e infrarroja cercana (NIR) del rango electromagnético?

- a) Índice de aguas superficiales terrestres
- b) Índice de vegetación de diferencia normalizada
- c) Índice de plantas ajustado al suelo
- d) Índice de sequedad de la planta de temperatura