



Herramientas de monitorización (análisis de savia y sensores ópticos) para determinar el estado nutricional de los cultivos

Francisco Padilla

Departamento de Agronomía, Universidad de Almería

Jornada formativa EAV: Gestión eficiente del riego y fertilización en los cultivos en invernadero mediante herramientas de monitorización y de ayuda a la toma de decisiones

Las Palmerillas (Cajamar), El Ejido, Almería, 26 Abril 2024



The PRIMA programme is supported under Horizon 2020 the European Union's Framework Programme for Research and Innovation.

Monitorización del estado nutricional de cultivos hortícolas

Monitorización del estado nutricional en planta

Basado en el concepto de que el cultivo por sí mismo es un buen indicador de su estado nutricional

- Herramienta de ayuda en el manejo óptimo de los nutrientes
- Elevado interés en los últimos años
- Capacidad de rápida corrección

Monitorización “TRADICIONAL” del estado nutricional de cultivos hortícolas

Análisis foliar (% elemental: N, P, K, etc.)

- Procedimiento laborioso
- Envío de muestras al laboratorio
- Requiere tiempo para obtener los resultados
- Empleado principalmente si se observan deficiencias visuales o cuando se detectan problemas en la nutrición



Monitorización en savia del estado nutricional de cultivos hortícolas

Análisis de la concentración de iones en savia de peciolo

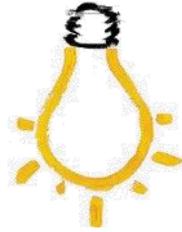
- Presentación de M. Teresa Peña

Monitorización del estado nutricional de cultivos hortícolas con SENSORES ÓPTICOS

- Sensores que miden propiedades ópticas de las plantas (i.e., transmitancia, reflectancia, fluorescencia) que son muy sensibles a la cantidad de N del cultivo
- No miden concentración de N en los tejidos vegetales
- Las medidas de los sensores están estrechamente relacionadas con la cantidad real de N del cultivo, por lo que pueden proporcionar una estimación del estado de N
- Medidas en contacto con la hoja o a pocos centímetros (*p. ej.* 40-60 cm) de la planta en intervalos de tiempo regulares o en momentos críticos
- Resultados obtenibles directamente en campo con poco procesamiento de datos
- Uso internacional sobre todo en cultivos de trigo y maíz en EE.UU. y norte de Europa, pero con muy poca aplicación en cultivos hortícolas → **Agricultura de precisión**

Sensores ópticos y propiedades ópticas de las plantas

Luz emitida por el sensor



Emisión de fluorescencia

Fluorímetros (medidores de flavonoles y clorofila)



Luz reflectada

Sensores de reflectancia o radiómetros



Luz transmitida

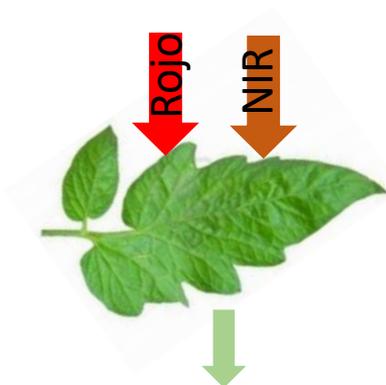
Sensores de transmitancia (Medidores de clorofila)



Medidores de clorofila y N



- ¿Por qué medir la cantidad de clorofila para manejar el N?
 - Relación directa entre contenido de N y cantidad de clorofila en hoja



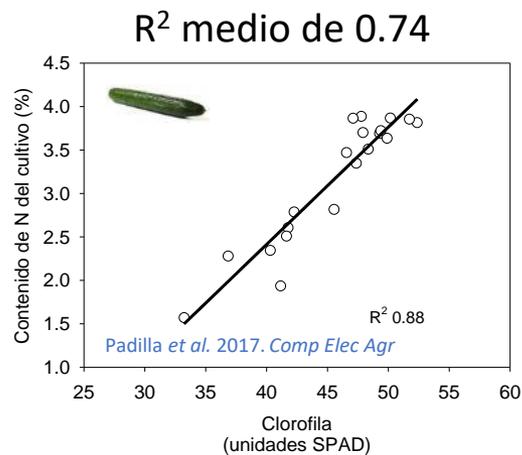
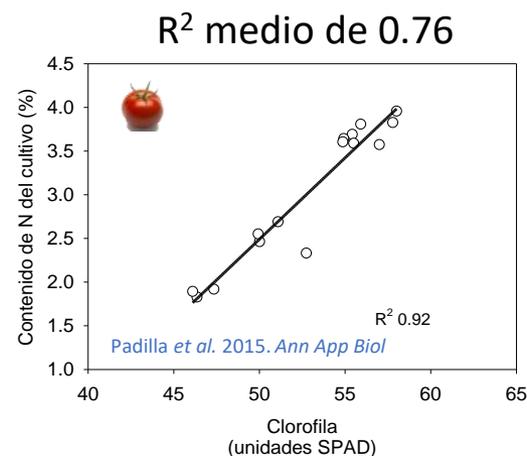
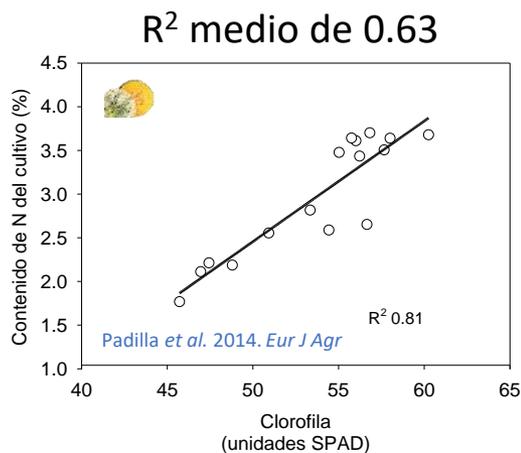
La clorofila absorbe la luz roja y transmite gran parte de la NIR

- ❖ Mayor cantidad de N en la planta, más clorofila: absorbe más rojo (transmite menos rojo)
- ❖ Menor cantidad de N en la planta, menos clorofila: absorbe menos rojo (transmite más rojo)

Medidores de clorofila como indicadores del contenido de N del cultivo



- Relaciones con alto R^2 durante la mayor parte del cultivo de melón, tomate y pepino



Consideraciones de los medidores de clorofila

- Aportan una medida adimensional (índice) de la cantidad de clorofila
- Medidas en una superficie muy pequeña de la hoja (varios mm²) → Alta replicación para reducir la variabilidad entre hojas
- Protocolo de medida consistente en cuanto a hojas seleccionadas y posición en la hoja
- Ausencia de una relación única entre medidas de clorofila y cantidad de nitrógeno en hoja, aplicable a todos los cultivos y fases fenológicas
- Coste económico, pero hay sensores de bajo coste



SPAD
3,000€



N-tester
3,000€



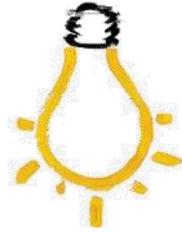
Apogee
2,900€



atLeaf+
260€

Sensores ópticos y propiedades ópticas de las plantas

Luz emitida por el sensor



Emisión de fluorescencia

Fluorímetros (medidores de flavonoles y clorofila)



Luz reflectada

Sensores de reflectancia o radiómetros



Luz transmitida

Sensores de transmitancia (Medidores de clorofila)



Sensores de reflectancia



- Las plantas absorben y reflejan luz visible y NIR según su contenido de N



- ❖ A mayor cantidad de N en la planta: más absorción del visible (menor reflectancia del visible)
- ❖ A menor cantidad de N en la planta: menor absorción del visible (más reflectancia del visible)

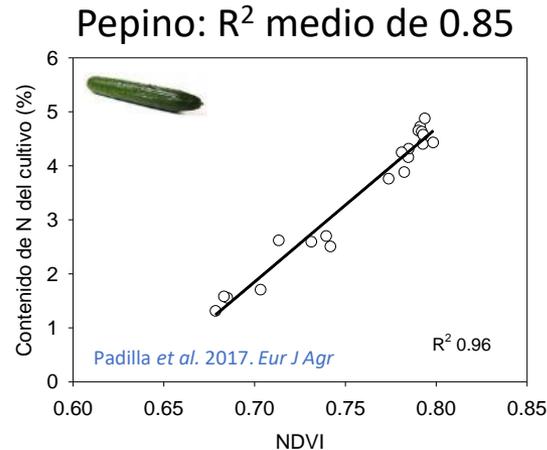
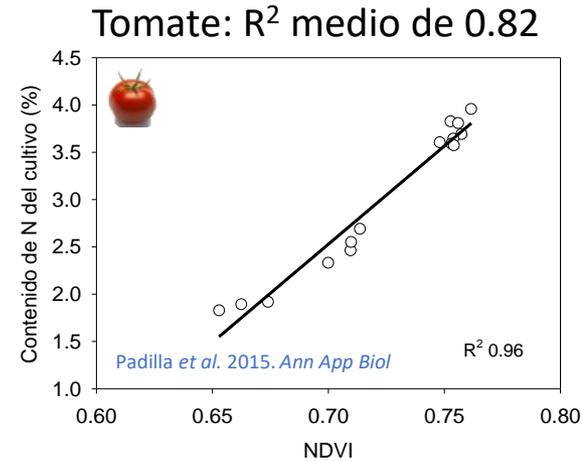
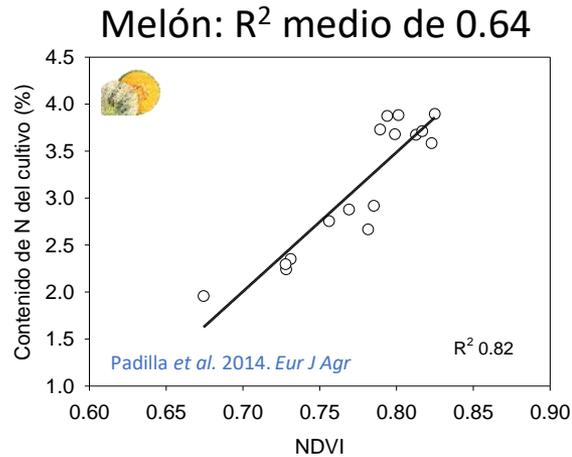
Consideraciones de los sensores de reflectancia

- Proporcionan índices de vegetación a partir de las medidas de reflectancia de la luz visible (rojo, verde, rojo lejano) y NIR
 - Índices de vegetación = Ecuaciones matemáticas: NDVI, RENDVI, RVI, GVI
 - NDVI es el índice más usado en teledetección
 - $NDVI = \frac{NIR - Rojo}{NIR + Rojo}$

Índice de vegetación NDVI como indicador del contenido de N del cultivo



- Relaciones con alto R^2 durante la mayor parte del cultivo de melón, tomate y pepino



Consideraciones de los sensores de reflectancia

- Sensores proximales (medidas a varios cm o m). Campo de visión más amplio
- Protocolo de medida consistente (ángulo y distancia al cultivo)
- Ausencia de una relación única entre índices de vegetación y cantidad de N, aplicable a todos los cultivos y fases fenológicas
- Coste económico, pero hay sensores de bajo coste



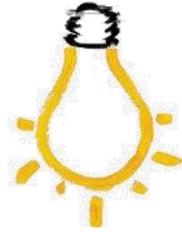
Crop Circle ACS470
6,500€



Greenseeker
690€

Sensores ópticos y propiedades ópticas de las plantas

Luz emitida por el sensor



Emisión de fluorescencia

Fluorímetros (medidores de flavonoles y clorofila)



Luz reflectada

Sensores de reflectancia o radiómetros



Luz transmitida

Sensores de transmitancia (Medidores de clorofila)



Medidores de flavonoles y N

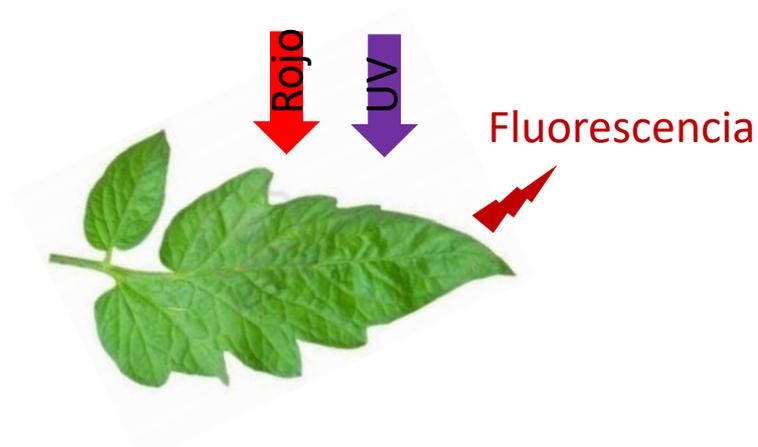


■ ¿Por qué medir flavonoles?

- Mayor producción de flavonoles en respuesta a baja disponibilidad de N
- Relación inversa entre cantidad de N y cantidad de flavonoles en hoja



Los flavonoles absorben la luz UV y disminuyen la fluorescencia



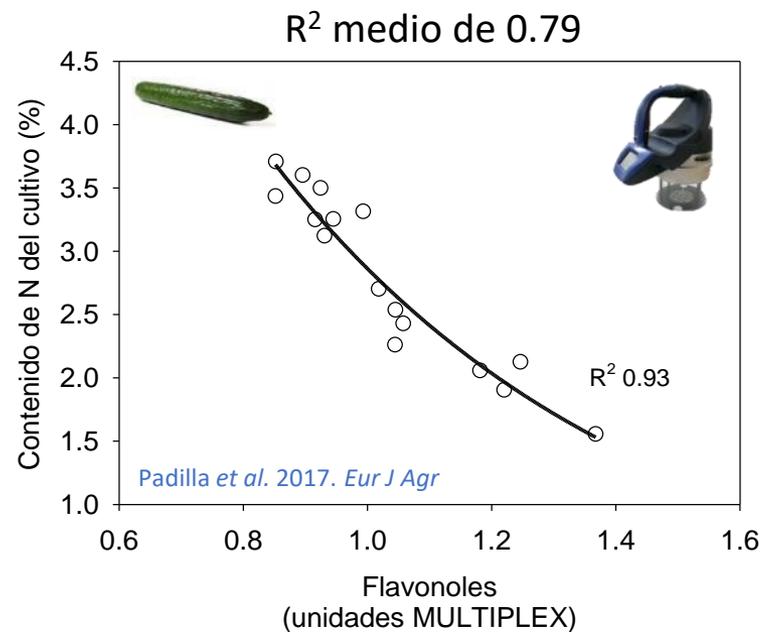
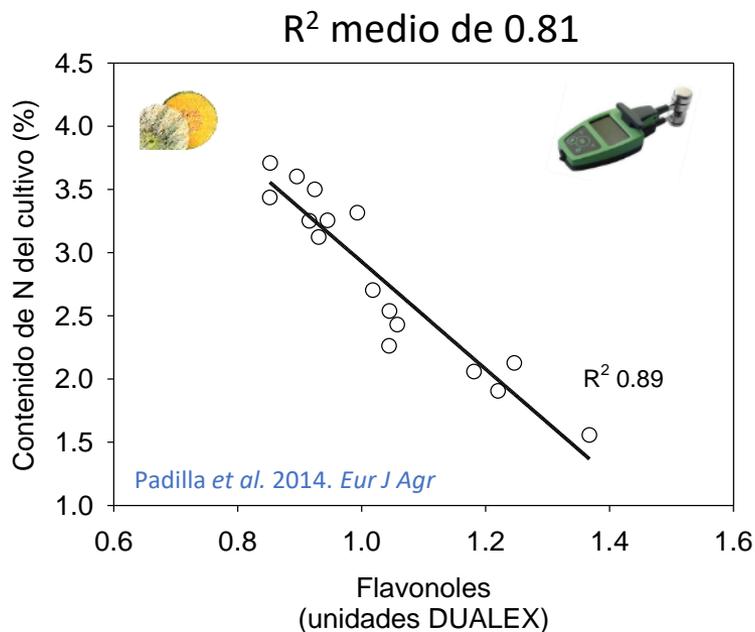
❖ Mayor cantidad de N en la planta: menos flavonoles, menor absorción de UV (mayor fluorescencia al UV)

❖ Menor cantidad de N en la planta: mas flavonoles, mayor absorción de UV (menor fluorescencia al UV)

Medidores de flavonoles como indicadores del contenido de N de las plantas



- Relaciones con alto R^2 durante la mayor parte del ciclo de cultivo de melón y pepino



Consideraciones de los medidores de flavonoles y N

- Aportan una medida adimensional (índice) de la cantidad de flavonoles
- Medidas en una superficie pequeña de la hoja (20 mm² a 50 cm²) → Alta replicación para reducir la variabilidad entre las hojas
- Protocolo de medida consistente en cuanto a hojas seleccionadas y posición en la hoja
- Ausencia de una relación única entre medidas de flavonoles y cantidad de nitrógeno en hoja, aplicable a todos los cultivos y fases fenológicas
- La producción de flavonoles no solo es sensible a la cantidad de N, también a la luz, sequía, etc.
- Coste económico



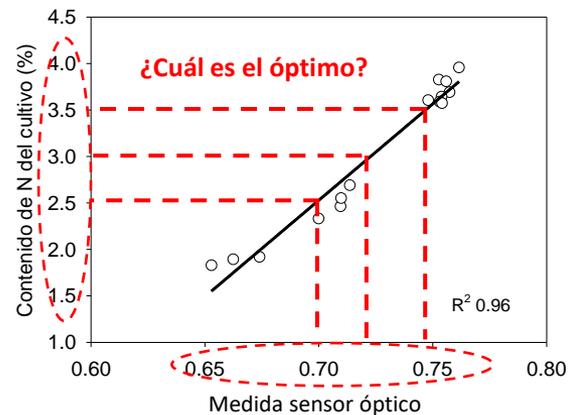
Multiplex
23,000€



Dualox
2,900€

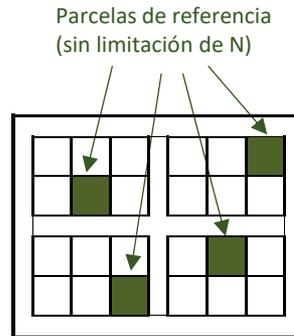
¿Qué valores de las medidas de los sensores ópticos corresponden a un N óptimo?

- Los sensores ópticos son buenos indicadores del contenido de N de las plantas pero son de poca ayuda si no sabemos qué valores corresponden a un contenido de N óptimo deseado



Parcelas de referencia (enfoque relativo)

- “Parcelas de referencia” sin limitaciones de N



- Valores relativos:

- Índice de Suficiencia de N (NSI) = $\frac{\text{Medida en campo}}{\text{Medida de referencia}} \times 100$

- El cultivo es deficiente en N cuando $NSI < 90-95 \%$

Parcelas de referencia (enfoque relativo)



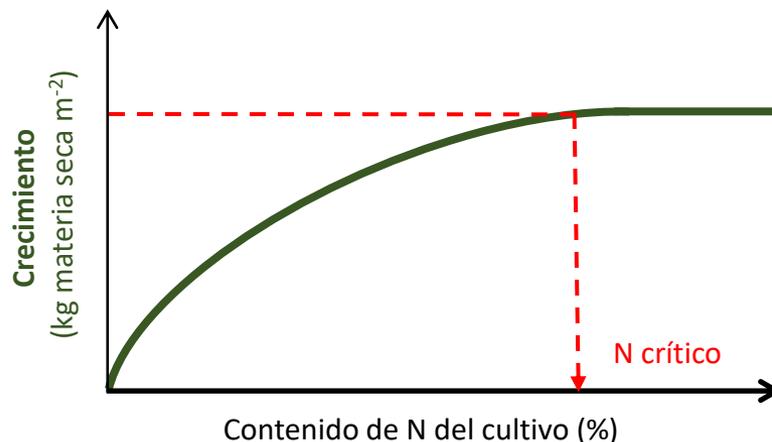
Limitaciones de las parcelas de referencia

- Limitaciones técnicas
 - Difícil con fertirriego donde hay una instalación de riego común para todo el cultivo



Otros enfoques para determinar qué valores de los sensores ópticos corresponden a un N óptimo

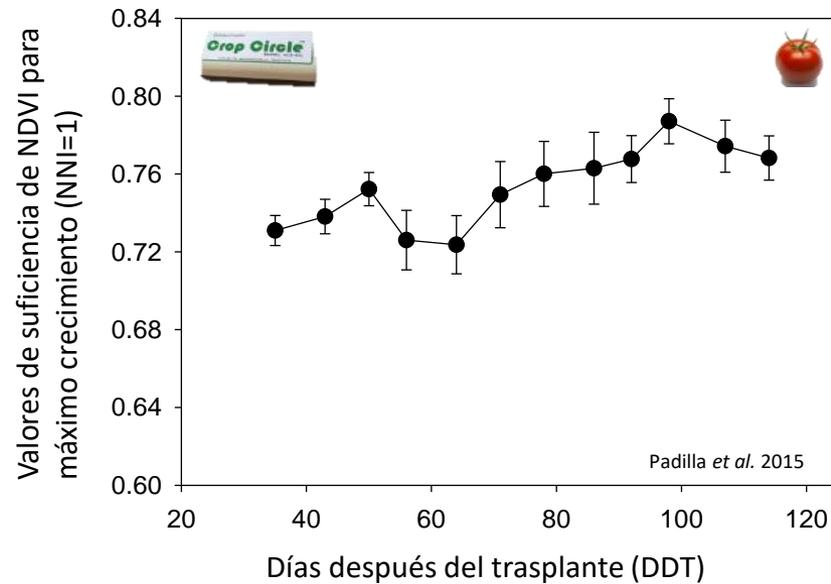
- ¿Cuál es el nivel de N óptimo o crítico de un cultivo?
 - Máximo crecimiento (producción de materia seca: fruto + hoja + tallo)



- Si el contenido de N del cultivo es superior al N crítico, el estado nutricional del **cultivo es excedentario**
- Si el contenido de N del cultivo es inferior al N crítico, el estado nutricional del **cultivo es deficitario**

Valores de suficiencia de sensores ópticos

- Valores de suficiencia de sensores ópticos a partir de los valores de N crítico



Valores de suficiencia para máximo crecimiento a lo largo del cultivo

Limitaciones de los sensores ópticos

- Los valores de suficiencia son específicos de cada especie y etapa fenológica, ¿y de cada variedad vegetal?
 - Parece que los valores de suficiencia son “relativamente” consistentes entre cultivares
- Las medidas de los sensores ópticos pueden estar influidas por otros factores aparte del N
- No hay un sensor que destaque de forma general sobre los demás por ser más preciso, hay un conjunto de aspectos que determina la idoneidad (campo de visión, precio, etc.).
- Muchos sensores ópticos son instrumental científico con alto coste económico; afortunadamente, empiezan a aparecer sensores de bajo coste
- Hay que estudiar con detalle cómo funcionan estos sensores ante condiciones de exceso de N

¿Cómo usaríamos los sensores para optimizar el manejo del fertirriego en cultivos hortícolas?

- FASE PRESCRIPTIVA
 - Plan de riego y fertilización basado en modelos (p. ej. PrHo, VegSyst-DSS)
- **FASE DE MONITORIZACIÓN, CON SENSORES O CON ANÁLISIS DE SAVIA**
 - **Medir periódicamente para evaluar si el cultivo está dentro de los valores de referencia para su estadio fenológico**
- FASE CORRECTIVA
 - Ajustes en la fertilización para corregir desviaciones

Los cultivos con fertirriego son un entorno ideal para optimizar la aplicación de N



CAPACIDAD TÉCNICA PARA UNA APLICACIÓN DE N PRECISA EN EL MOMENTO

Sensores de reflectancia en el mundo real



Medida índice de
Reflectancia NDVI



Cálculo de necesidades
de fertilizante N

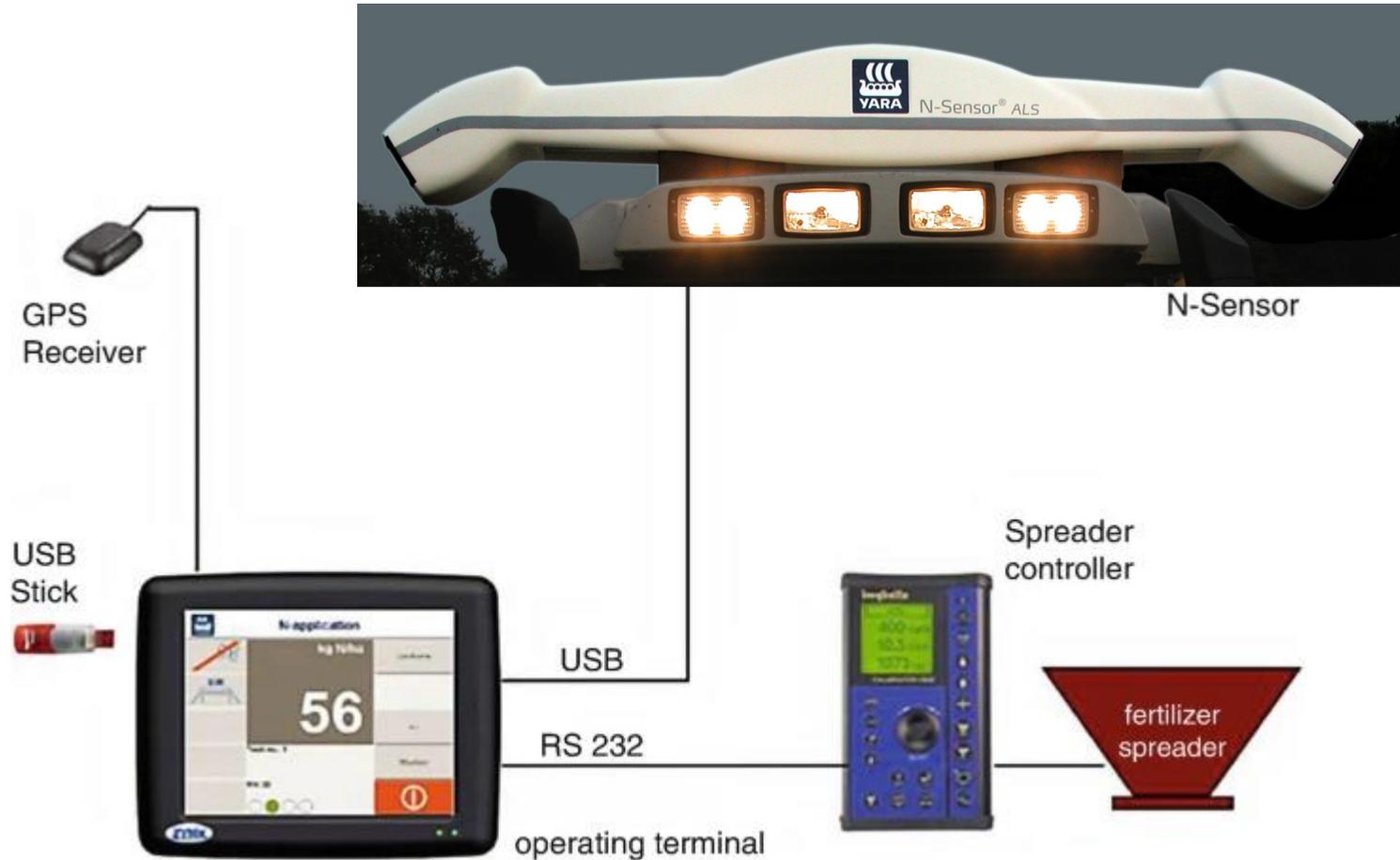


Aplicación de N



Yara N-Sensor®, > 800 unidades (hasta 2009). Fuente: Yara Electronic Products (M. Gomes)

Sensores ópticos para una agricultura de precisión en el abonado nitrogenado de cobertura



Sensores ópticos para una agricultura de precisión en el abonado nitrogenado de cobertera



Sensores ópticos para una agricultura de precisión en el abonado nitrogenado de cobertera



Agradecimientos



Proyecto: ***Innovative farm strategies that integrate sustainable N fertilization, water management and pest control to reduce water and soil pollution and salinization in the Mediterranean (Safe-H2O-Farm)***



Proyecto PCI2023-143356 financiado por MCIN/AEI /10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR



The PRIMA programme is an Art. 185 initiative supported and founded under Horizon 2020, the European Union's Framework Programme for Research and Innovation