



CONFERENCIA MAGISTRAL

La agricultura y el riego de precisión: presente y futuro

Manuel Alejandro Andrade

Rodríguez¹

Steven R. Evett²

Universidad de Nevada, Reno, Nevada¹

USDA-Servicio de Investigación Agrícola, Bushland, Texas²

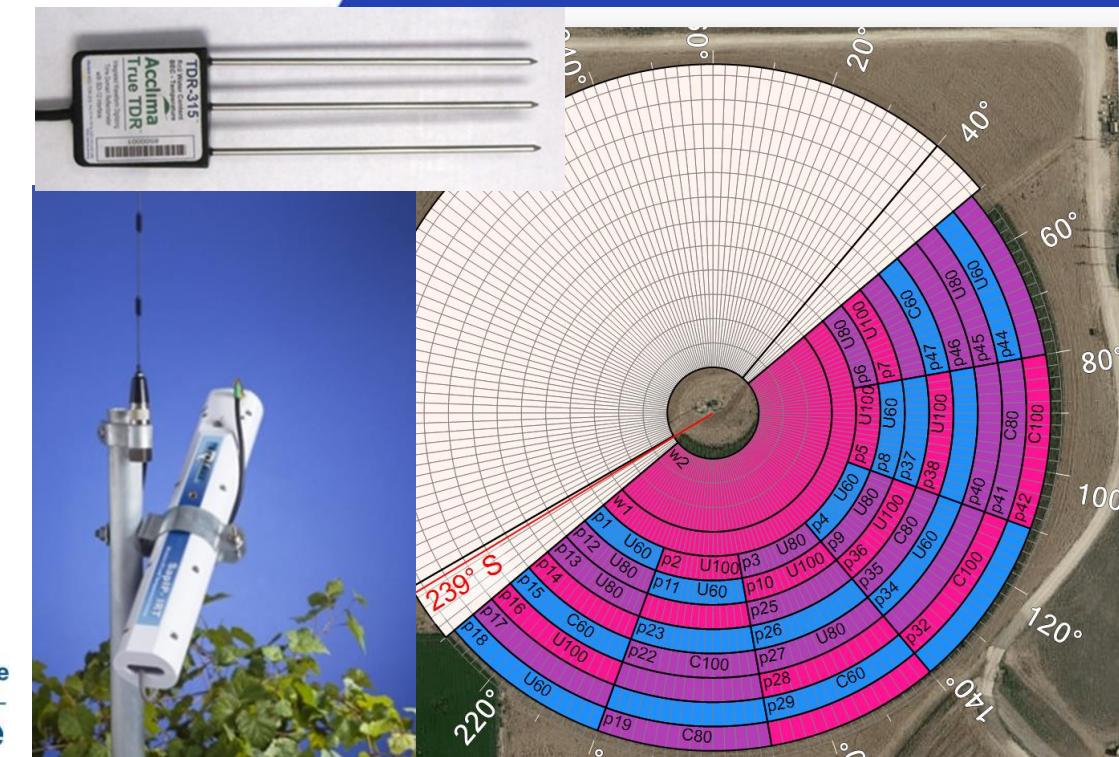


University of Nevada, Reno



United States Department of Agriculture

Agricultural Research Service





Agricultura de precisión

La agricultura de precisión consiste en aplicar cantidades variables de distintos insumos requeridos por un cultivo, en base a las necesidades individuales de distintas zonas en un terreno.



Evolución de la agricultura

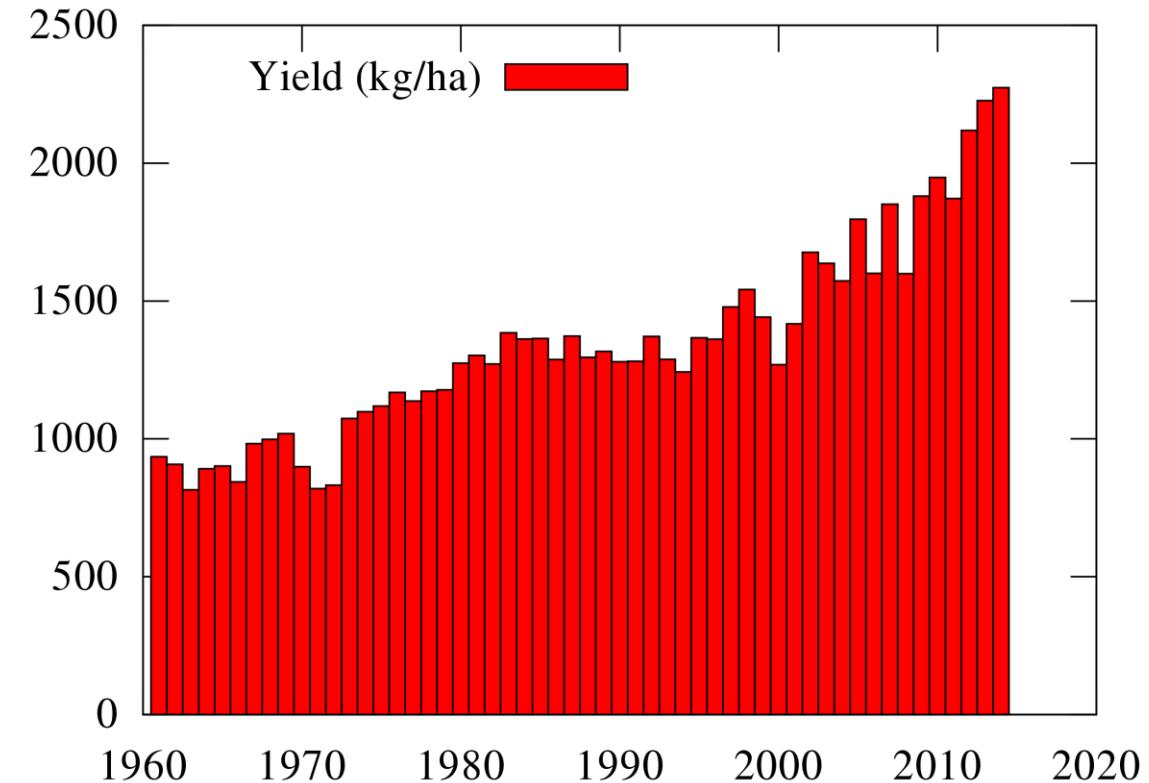
Primera revolución

- Mecanización de la agricultura

Segunda revolución

- Revolución verde (1960s)
 - Liderada por el Premio Nobel Dr. Norman Borlaug (1914-2009)
 - Mejoramiento genético de cultivos
 - Aplicación intensiva de agroquímicos
- Objetivo: maximizar la producción

Producción de trigo en países en desarrollo (kg/ha)



Fuente: Grendelkhan utilizando datos de la FAO

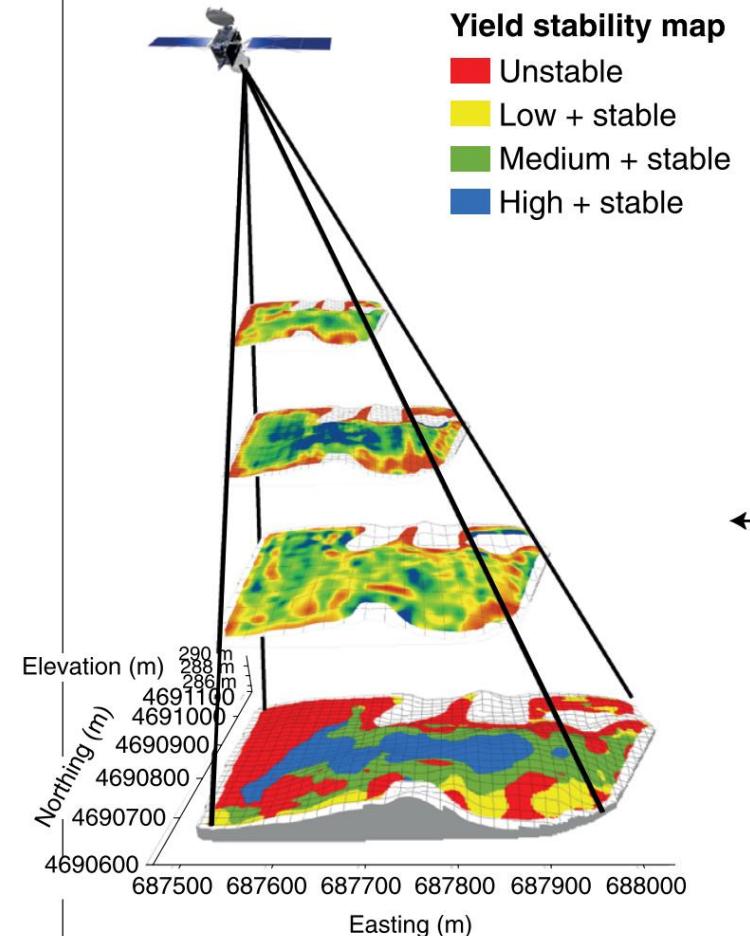


Evolución de la agricultura

Tercera revolución

- Agricultura de precisión (1980s)
- Aplicación de distintas tecnologías modernas en la agricultura
- Objetivo: reducir el uso de recursos requeridos para la producción
 - Incrementar ganancias
 - Reducir el impacto ambiental de la agricultura

Mapas geo-referenciados de productividad



Fuente: Basso y Antle (2020)



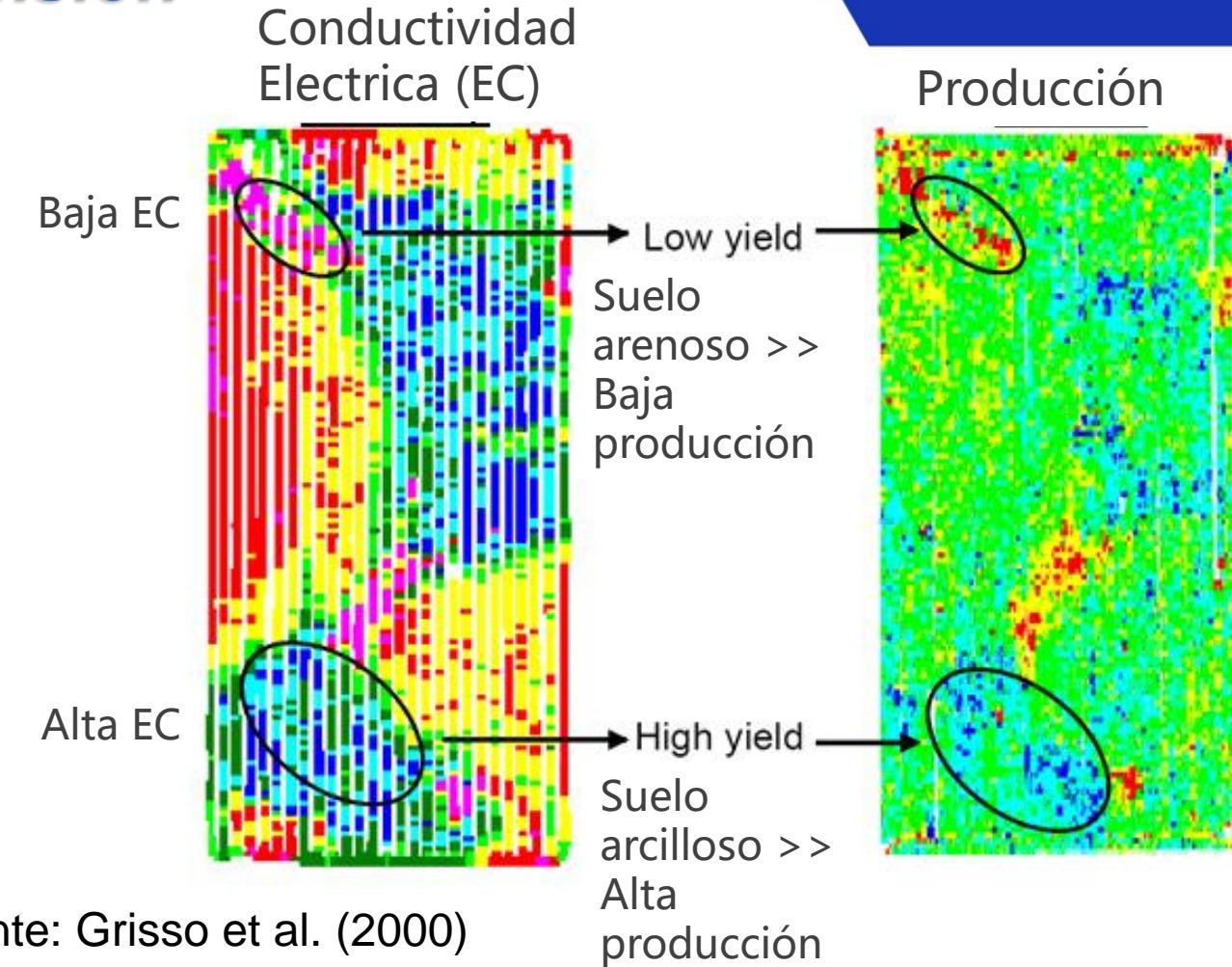
Tecnologías que dieron origen a la agricultura de Precisión

- Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS)
- La agricultura de precisión moderna inició en los años 1980s, cuando el Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS) fue liberado para su uso público (Evett et al., 2020)
 - Maquinaria agrícola guiada por sistemas GPS
- Sensores inalámbricos
 - Estimación de la variabilidad de las condiciones en un terreno
- Computadoras personales (finales de los años 1970s)
 - Sistemas de Información Geográfica
 - Sistemas de Soporte de Decisiones



Ejemplos de agricultura de Precisión

- Aplicación variable de fertilizantes
- Aplicación variable de herbicidas
- Aplicación variable de densidad de siembra
- Riego de precisión





Riego Convencional

- El riego convencional se basa en la premisa de aplicar una lámina de riego uniforme a todo el terreno
 - Enfoque de las 2C: aplicar agua a los cultivos en la Cantidad Correcta y en el Momento Correcto
- Las características de un terreno no son homogéneas
 - Textura del suelo
 - Topografía

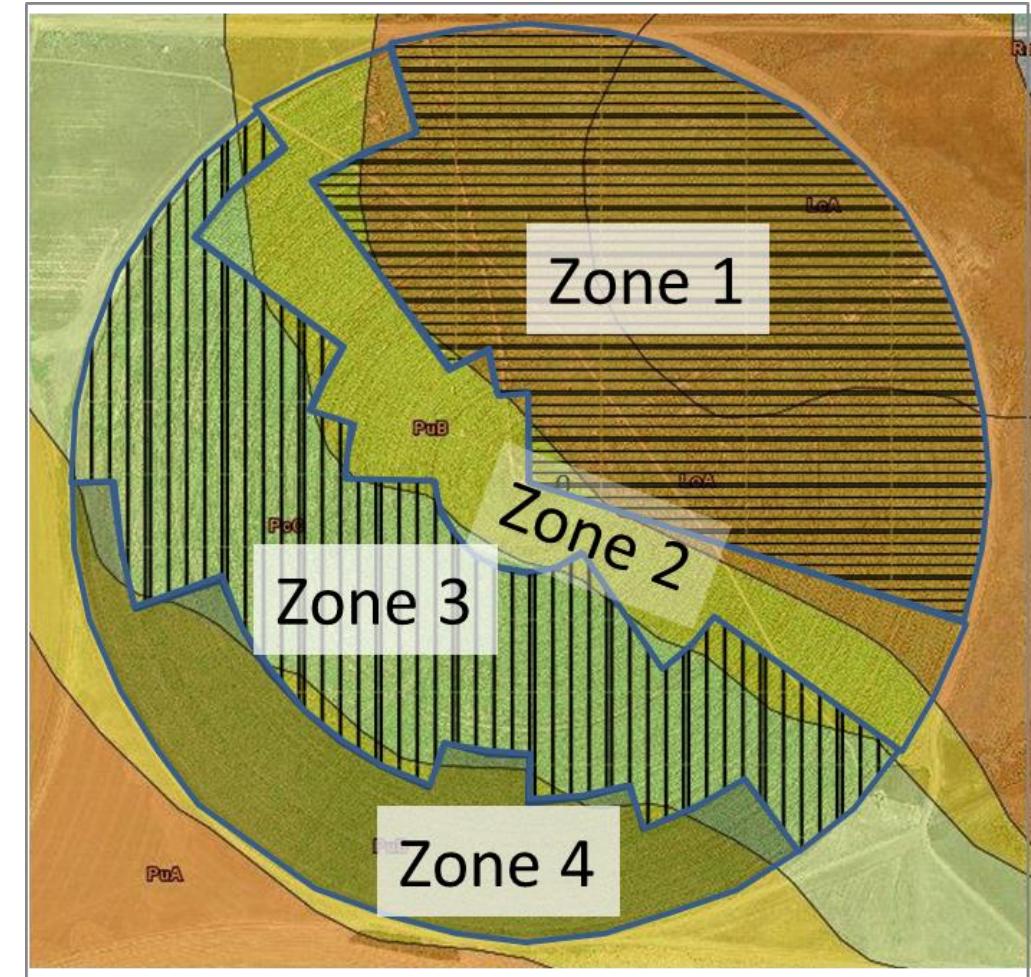




Riego de precisión

El riego de precisión consiste en aplicar cantidades variables de agua a un terreno, en base a las necesidades individuales de sus distintas zonas

- Enfoque de las 3C: aplicar agua a los cultivos en la Cantidad Correcta, en el Momento Correcto, y en el Lugar Correcto

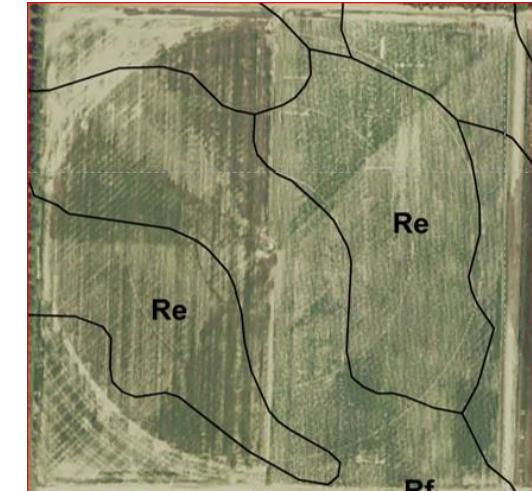


Potenciales beneficios del riego de precisión

1. Conservación del agua

- Evita el riego de zonas no cultivables
- Cada zona del terreno recibe únicamente la cantidad de agua que necesita
 - Evita el escurrimiento
 - Evita la infiltración debajo de las raíces de los cultivos

2. Optimización del valor económico del agua de riego





Requerimientos para la implementación del riego de precisión

1. Variabilidad en el terreno que justifique la inversión en un sistema de riego de precisión
2. Métodos que permitan cuantificar la cantidad de agua requerida por distintas zonas de manejo en un terreno
3. Un sistema de riego capaz de aplicar las cantidades requerida por distintas zonas de manejo en un terreno



Sistema de riego de pivote central con flujo variable

- Los sistemas de riego de pivote central con flujo variable han estado disponibles comercialmente desde el 2006
- Su adopción ha sido limitada
 - Elevado costo
 - Ausencia de Sistemas de Soporte de Decisiones que faciliten la elaboración de mapas de riego variable



Válvula hidráulica

Receptor GPS





¿Cómo generar mapas de riego para un sistema de riego de precisión?

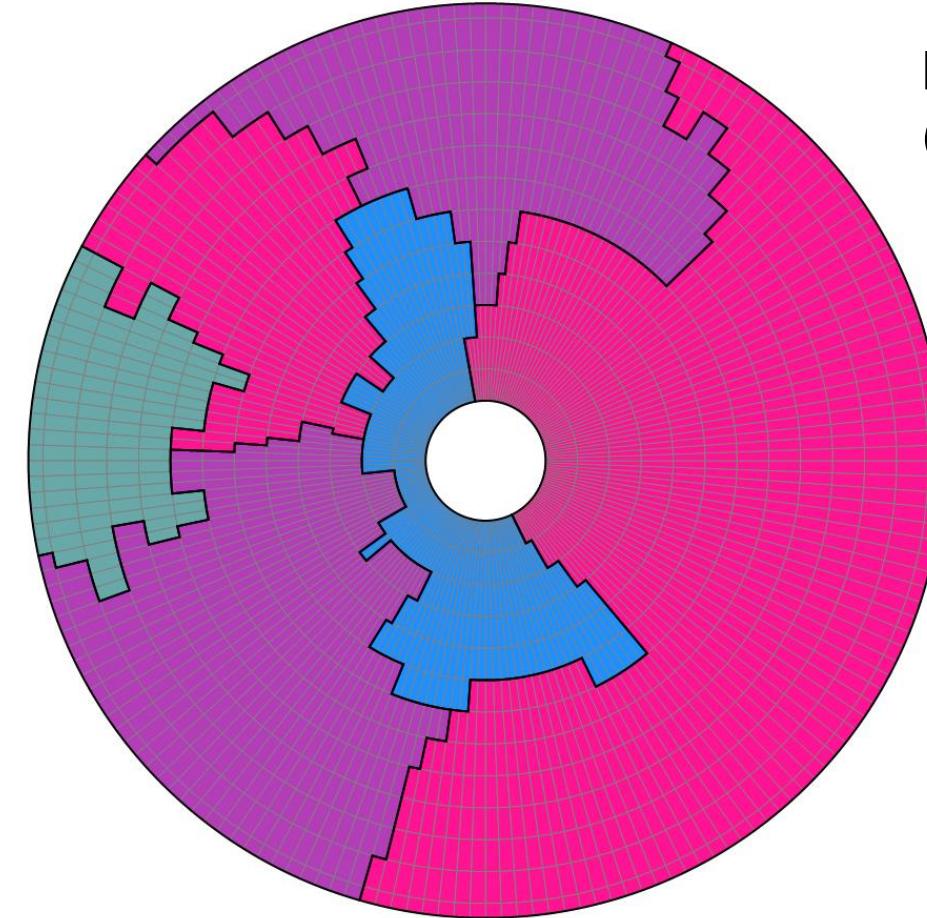
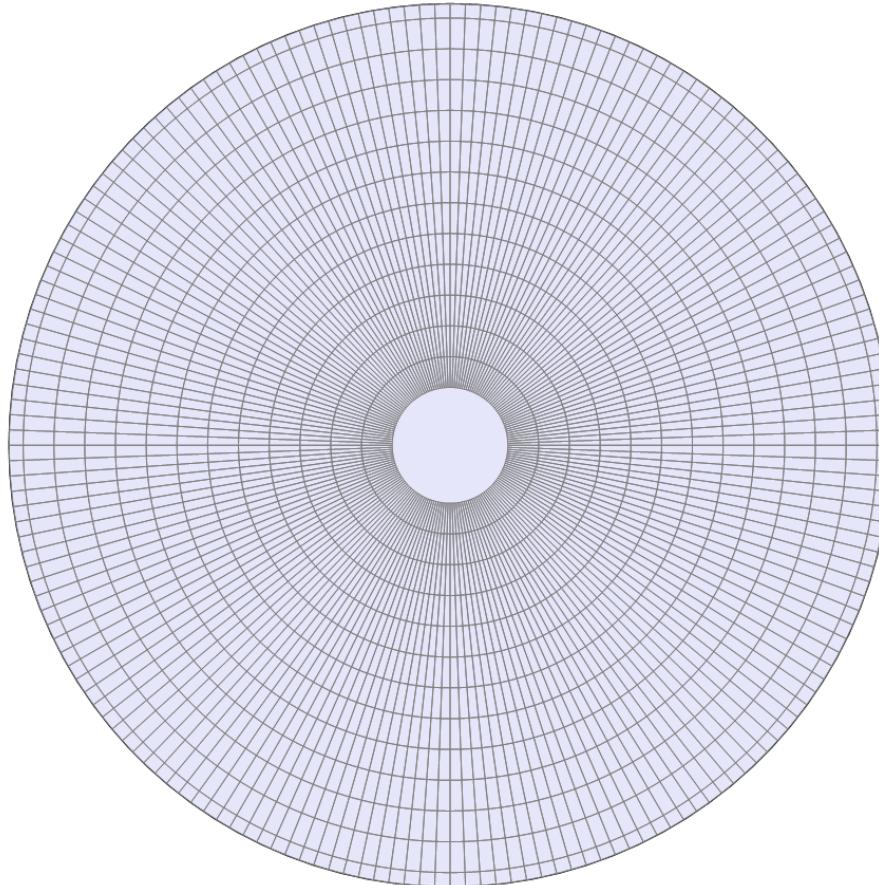
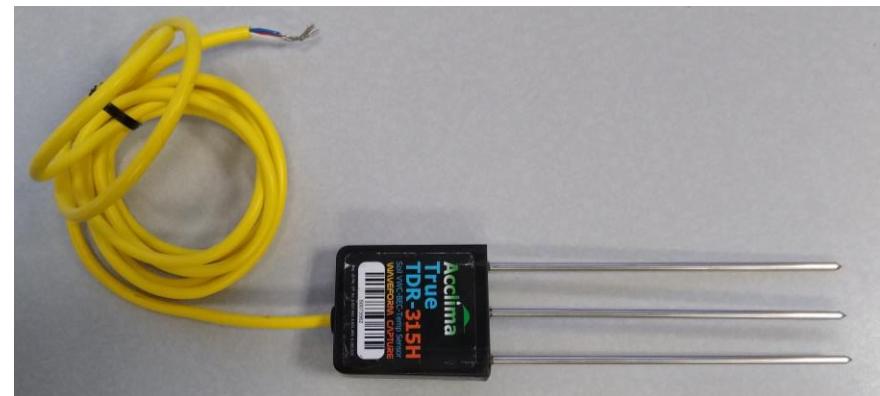
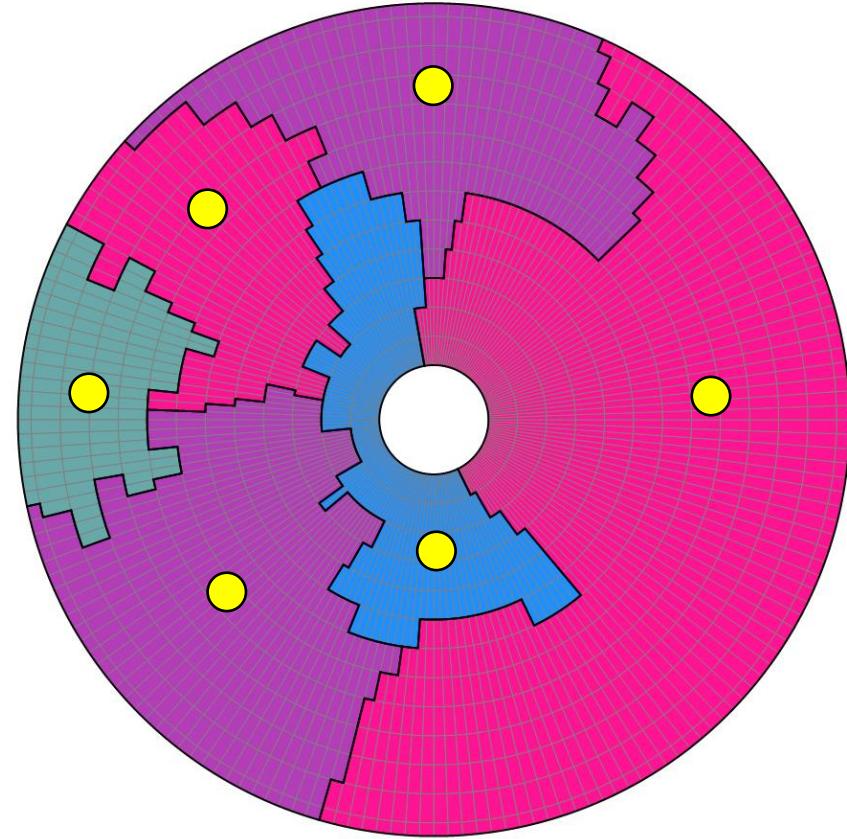


Lámina de riego
(100% = 25.4 mm)

- [0, 10)
- [10, 20)
- [20, 30)
- [30, 40)
- [40, 50)
- [50, 60)
- [60, 70)
- [70, 80)
- [80, 90)
- [90, 100]

¿Cómo generar mapas de riego para un sistema de riego de precisión?

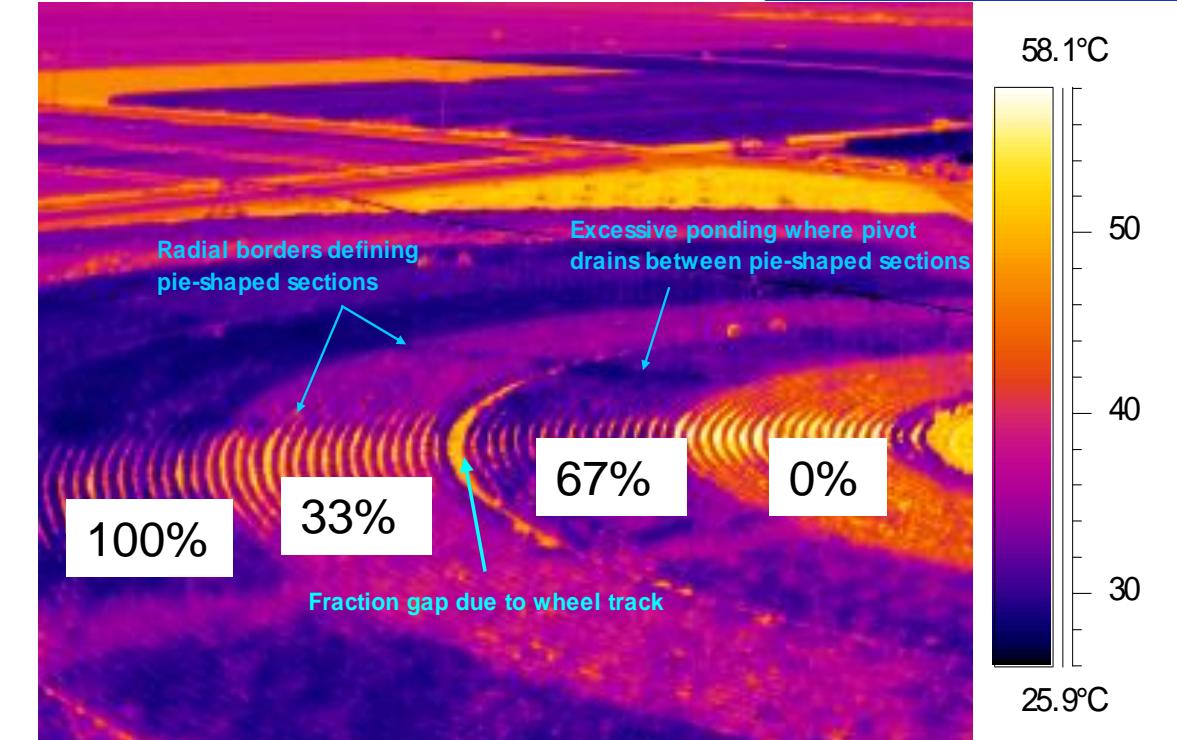
- Usando múltiples estaciones para medir la humedad del suelo
- Sensores basados en *Time Domain Reflectometry* (TDR) son precisos y actualmente mucho más accesibles que en el pasado
 - No es necesario calibrar los sensores TDR para la mayoría de los suelos
 - Los sensores TDR pueden conectarse al Internet de las Cosas (IoT) (Thompson et al., 2021)
- Una red de sensores de humedad de suelo puede volverse demasiado costosa si un terreno es dividido en más de unas pocas zonas de manejo





¿Cómo generar mapas de riego para un sistema de riego de precisión?

- Sensores de temperatura
 - La temperatura de una planta puede usarse como un indicador de estrés hídrico
 - La temperatura de un cultivo puede monitorearse de manera no invasiva usando sensores infrarrojos de temperatura (IRTs)



Temperaturas de un cultivo de algodón regado con un Sistema de caudal variable, Bushland, TX, 2007

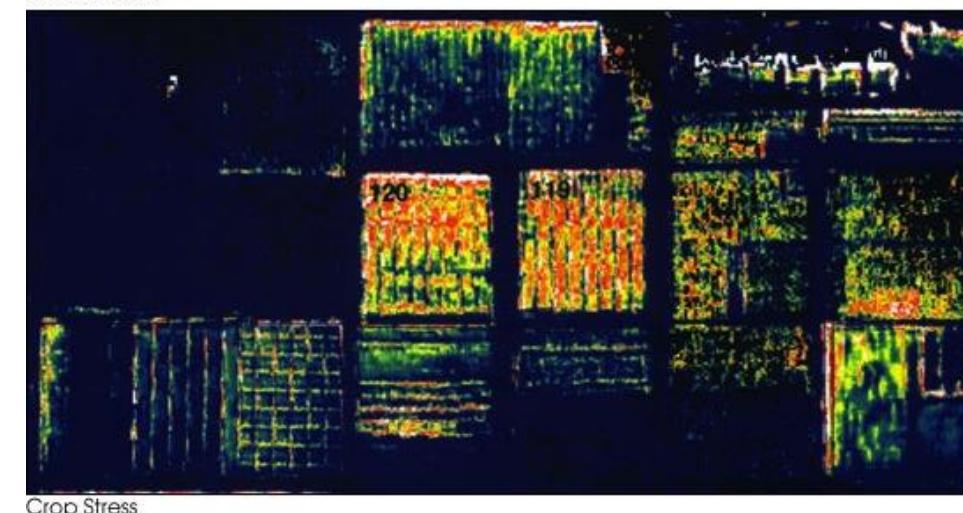
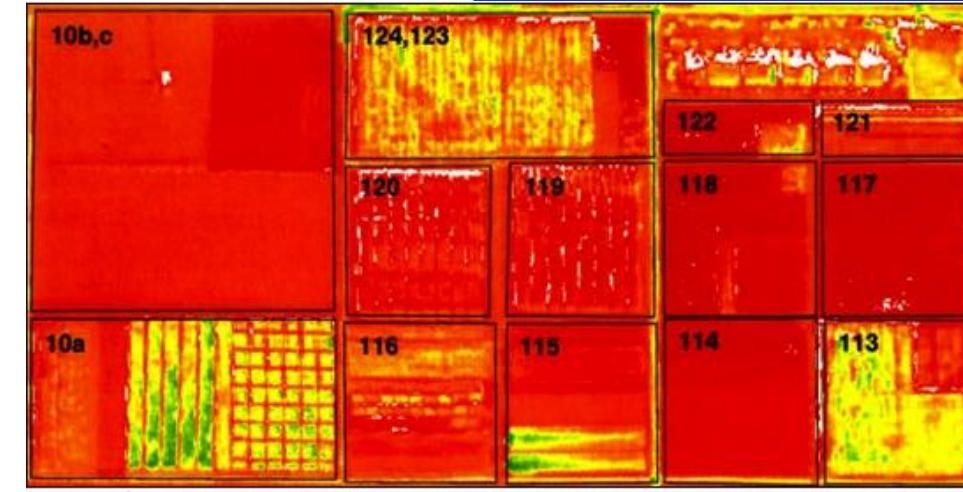


Generación de mapas de riego de precisión usando sensores remotos

- Imágenes satelitales
- Drones (UAVs)



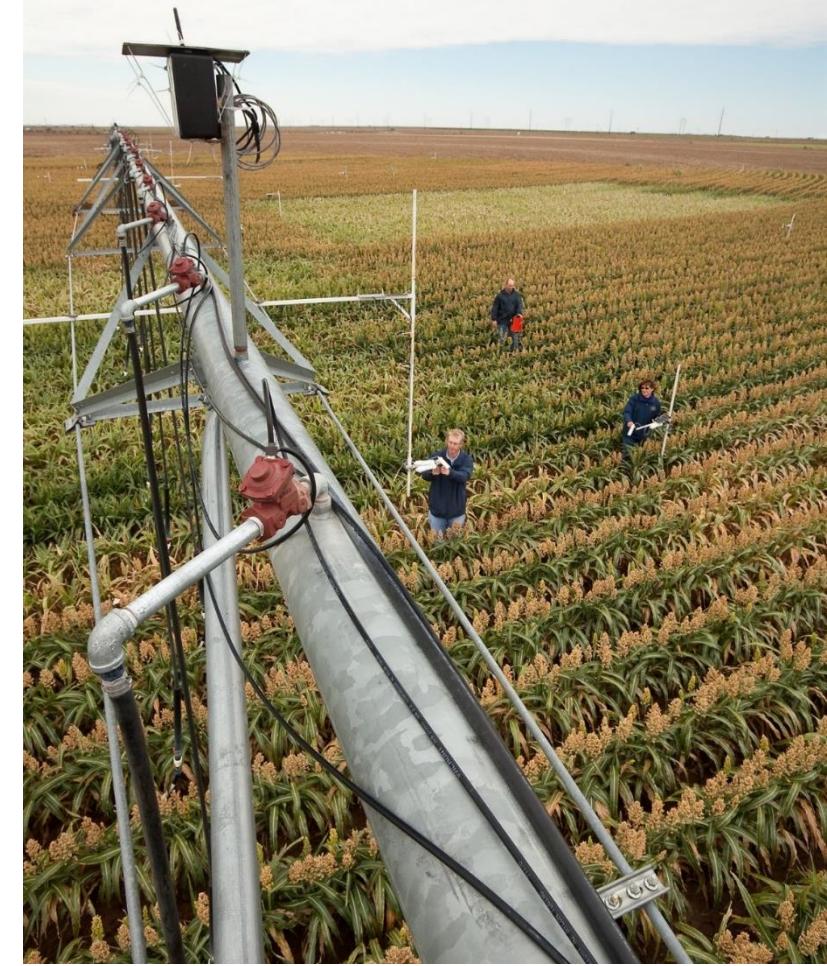
Volando un dron sobre un cultivo de soya.
Fuente: CCAFS (2017)



Mapas de déficit hídrico y de estrés del cultivo.
Fuente: Susan Moran, USDA-ARS (2011)



Generación de mapas de riego de precisión usando sensores IRTs montados en la tubería lateral de un pivote central

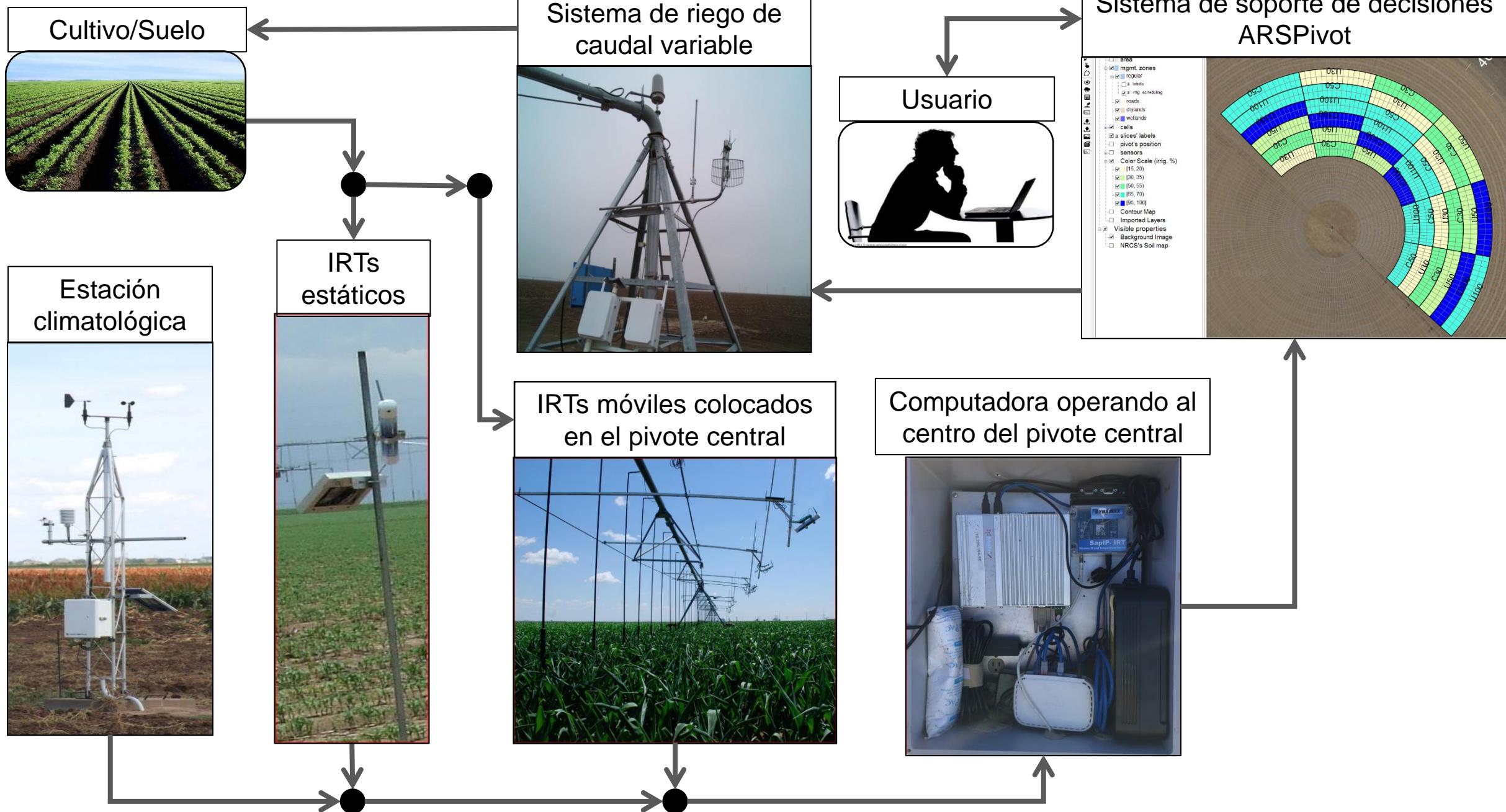


Instalación de sensores IRTs en la
tubería lateral de un pivote central en
Bushland, TX. Fuente: USDA-ARS



ARSPivot

- Sistema de Soporte de Decisiones para pivotes centrales equipados con un sistema de flujo variable
 - Genera automáticamente mapas de riego de precisión utilizando información obtenida por estaciones climatológicas, sensores infrarrojos (IRTs) y sensores de humedad de suelo (TDRs)
 - Facilita la inspección de mapas de riego de precisión
 - Incorpora herramientas para el análisis espacial y temporal de la información colectada por los sensores IRTs y TDRs



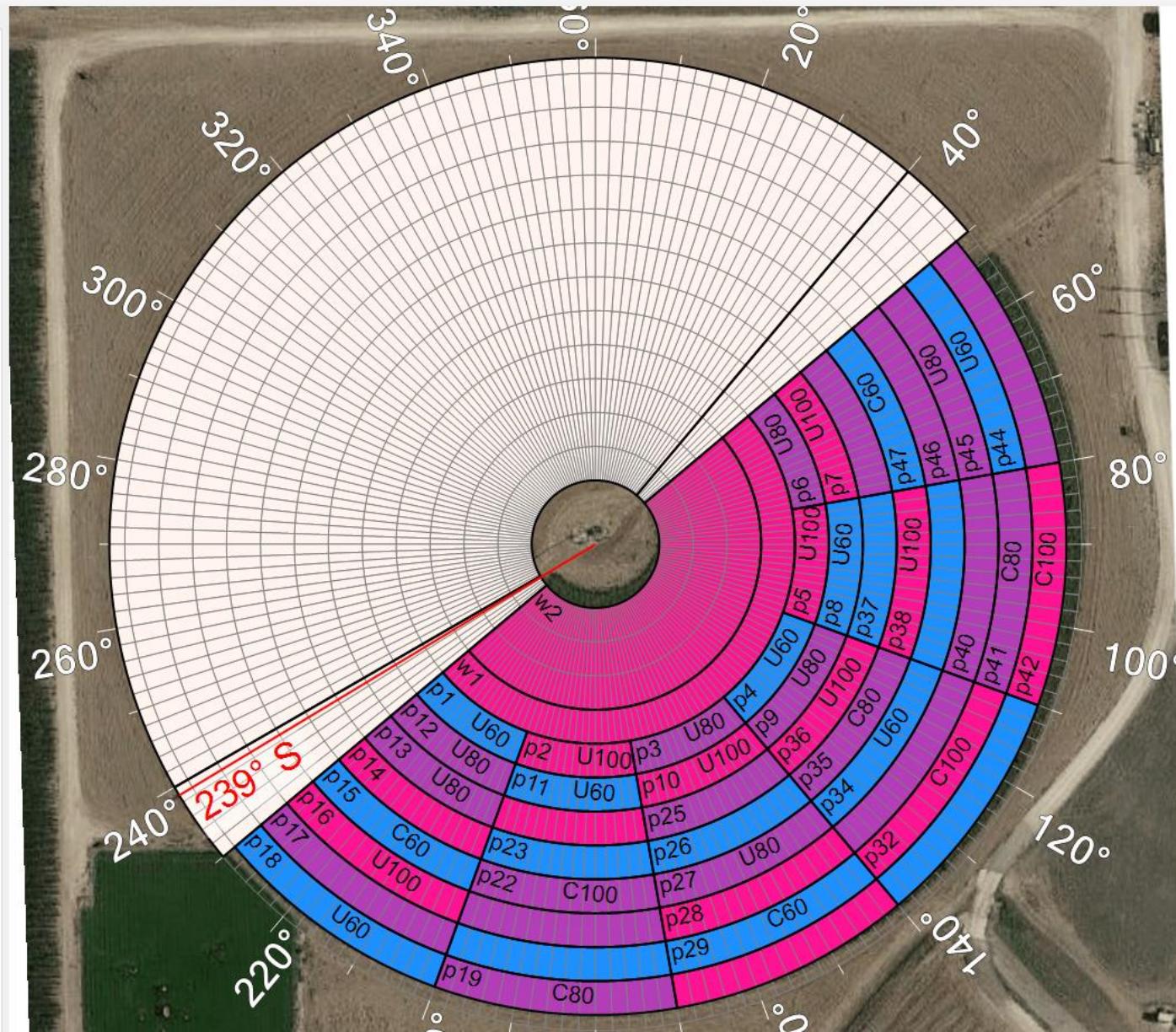
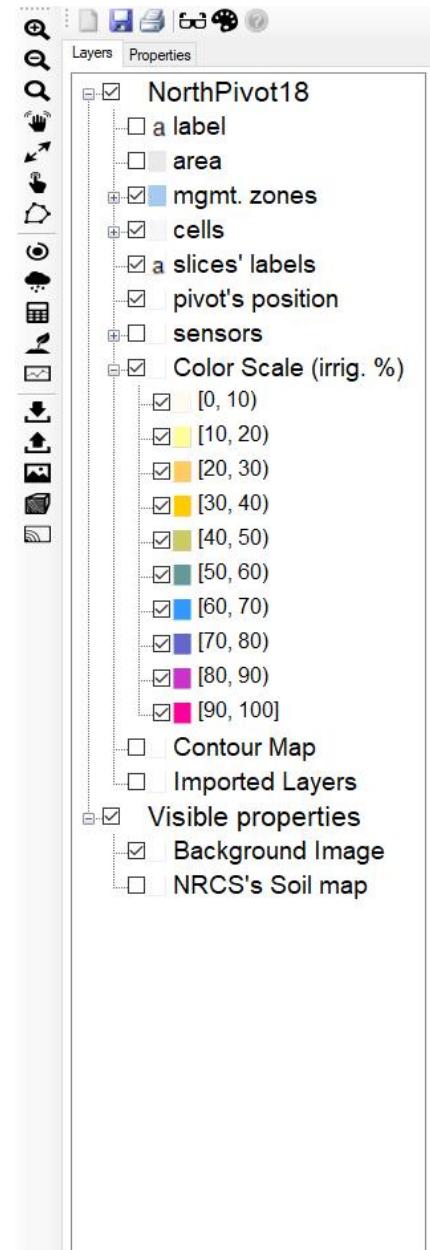
ARSPivot: inspección de mapas de riego de precisión

Cultivo de papas regado el 20/7/18

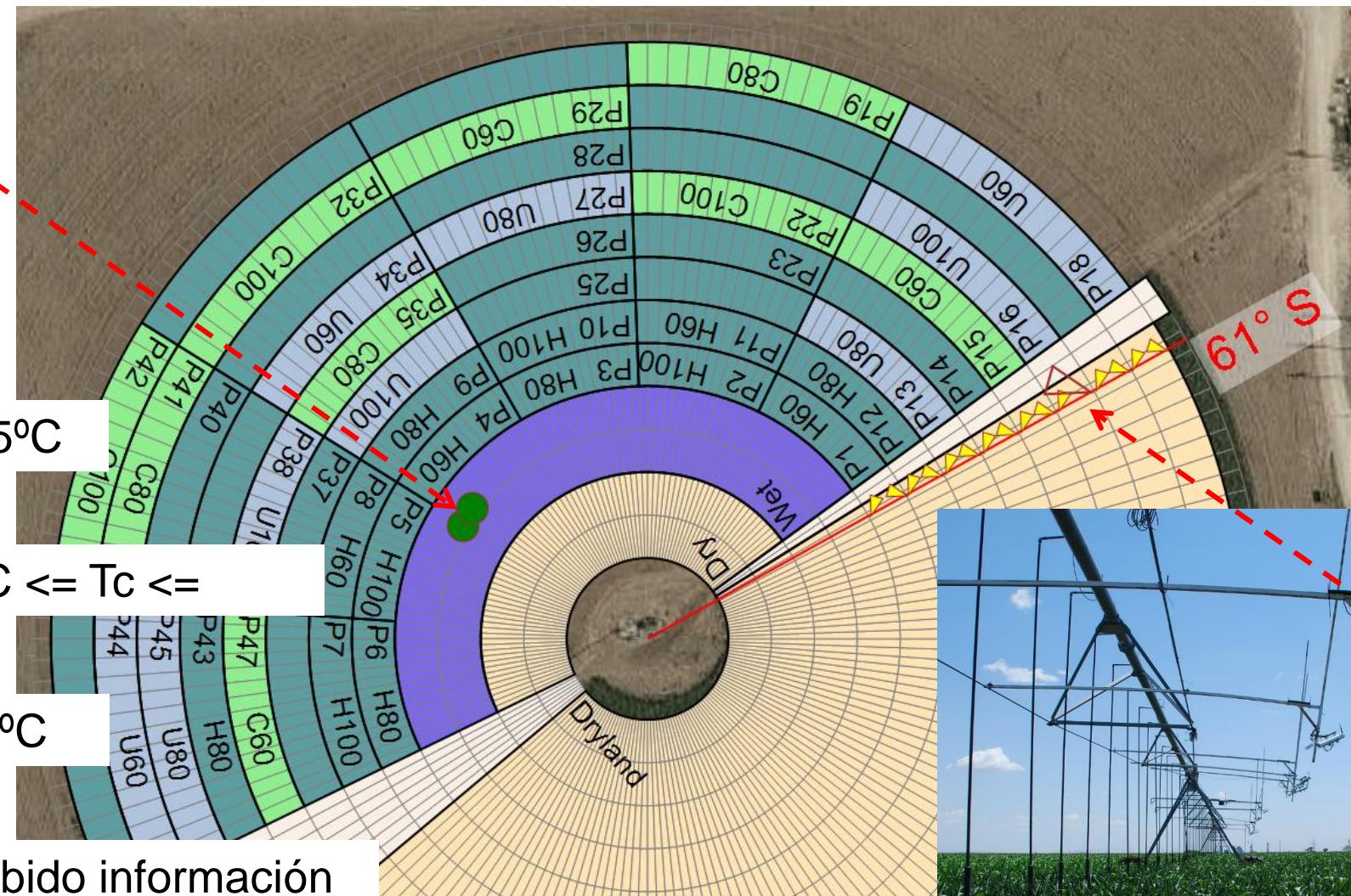
Niveles de riego: 100, 80, and 60%

Lámina de riego (100% = 25.4 mm)

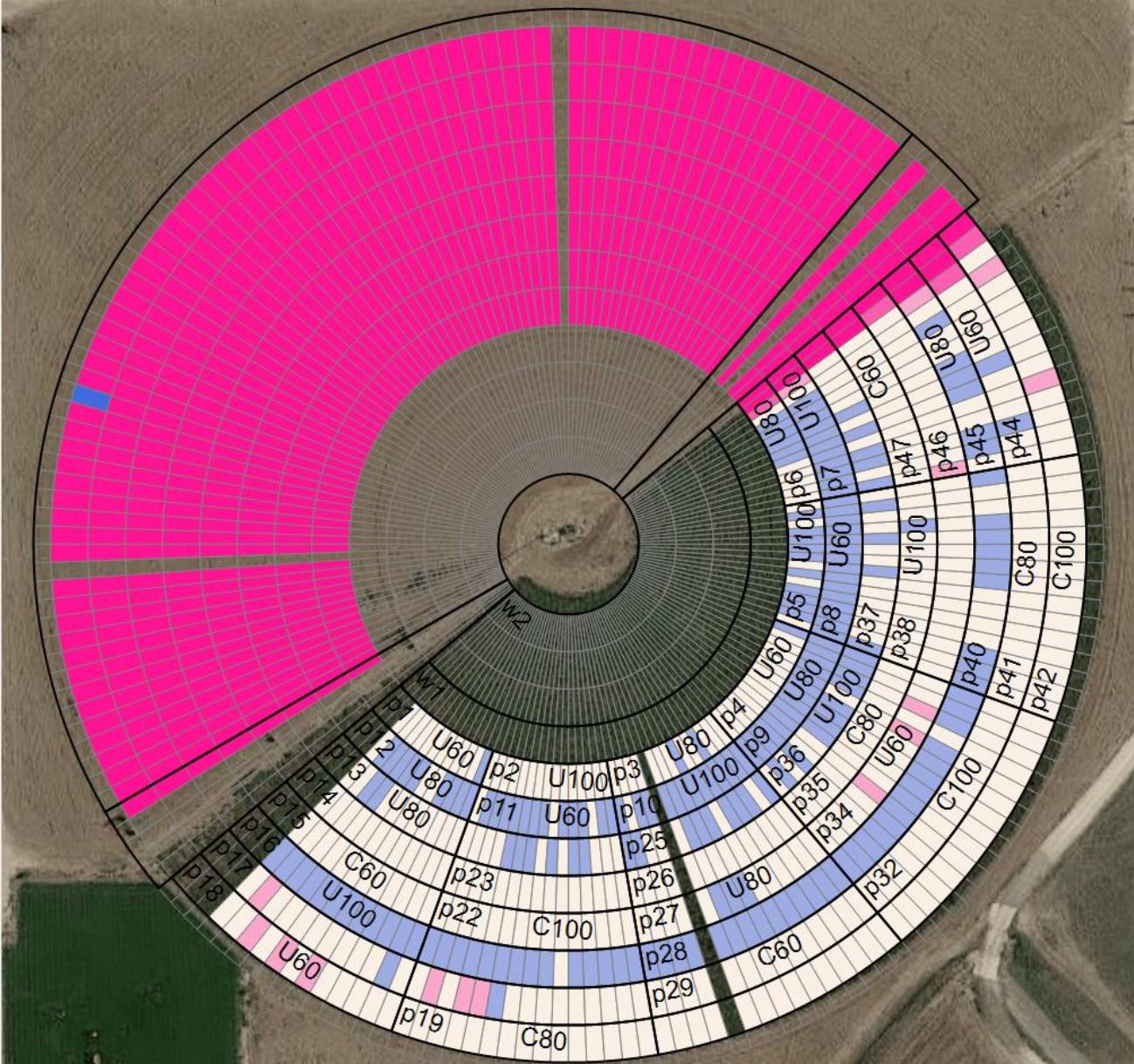
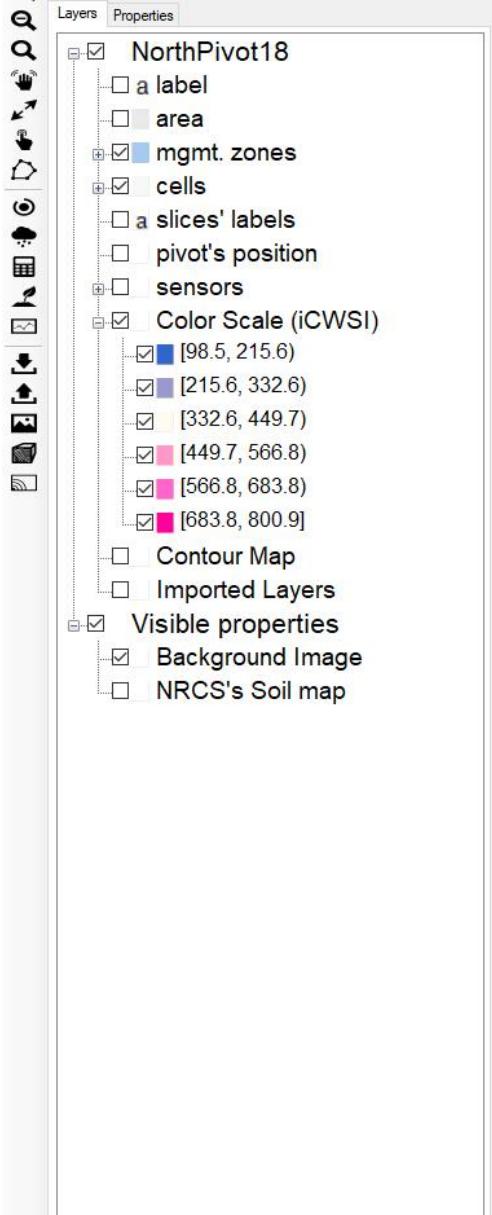
- [0, 10)
 - [10, 20)
 - [20, 30)
 - [30, 40)
 - [40, 50)
 - [50, 60)
 - [60, 70)
 - [70, 80)
 - [80, 90)
 - [90, 100]



ARSPivot: visualización del estado de sensores IRTs



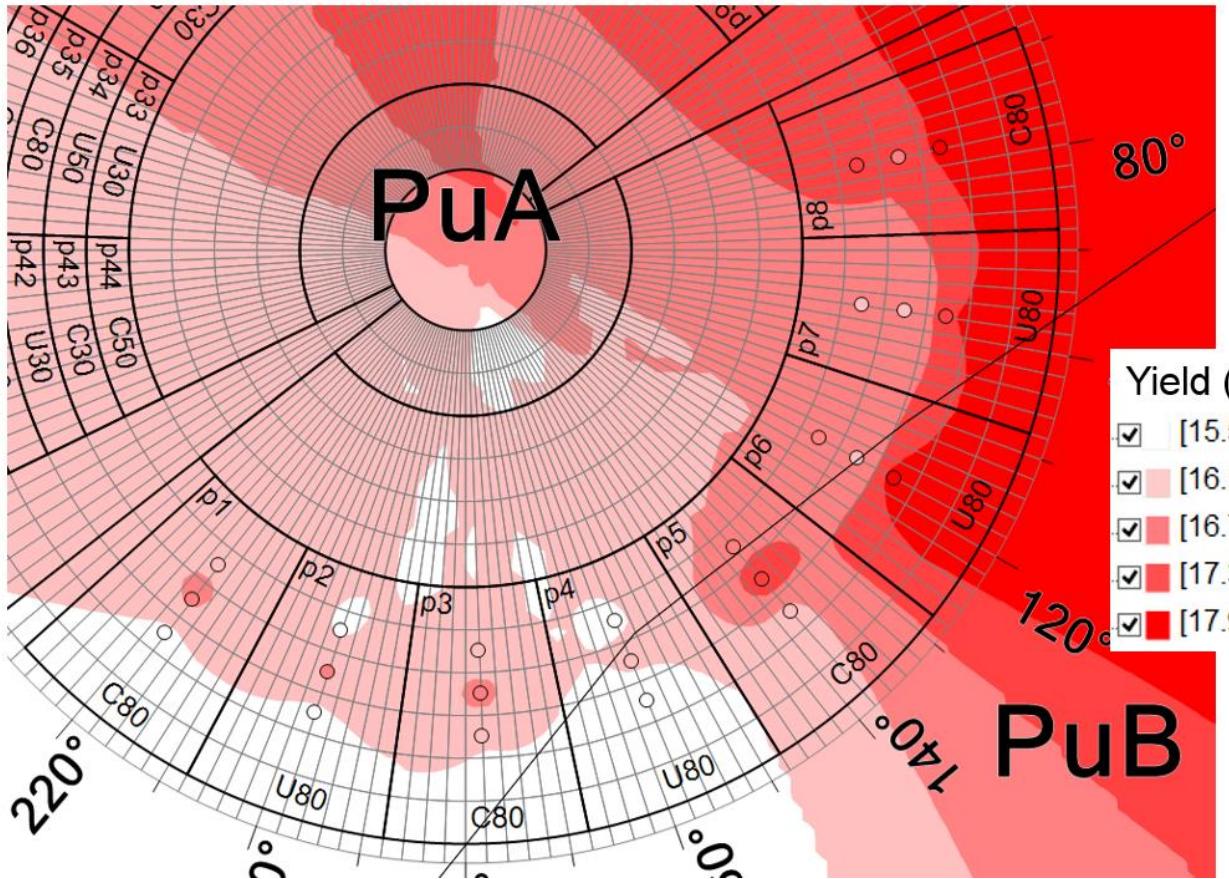
ARSPivot: análisis espacial y temporal de información



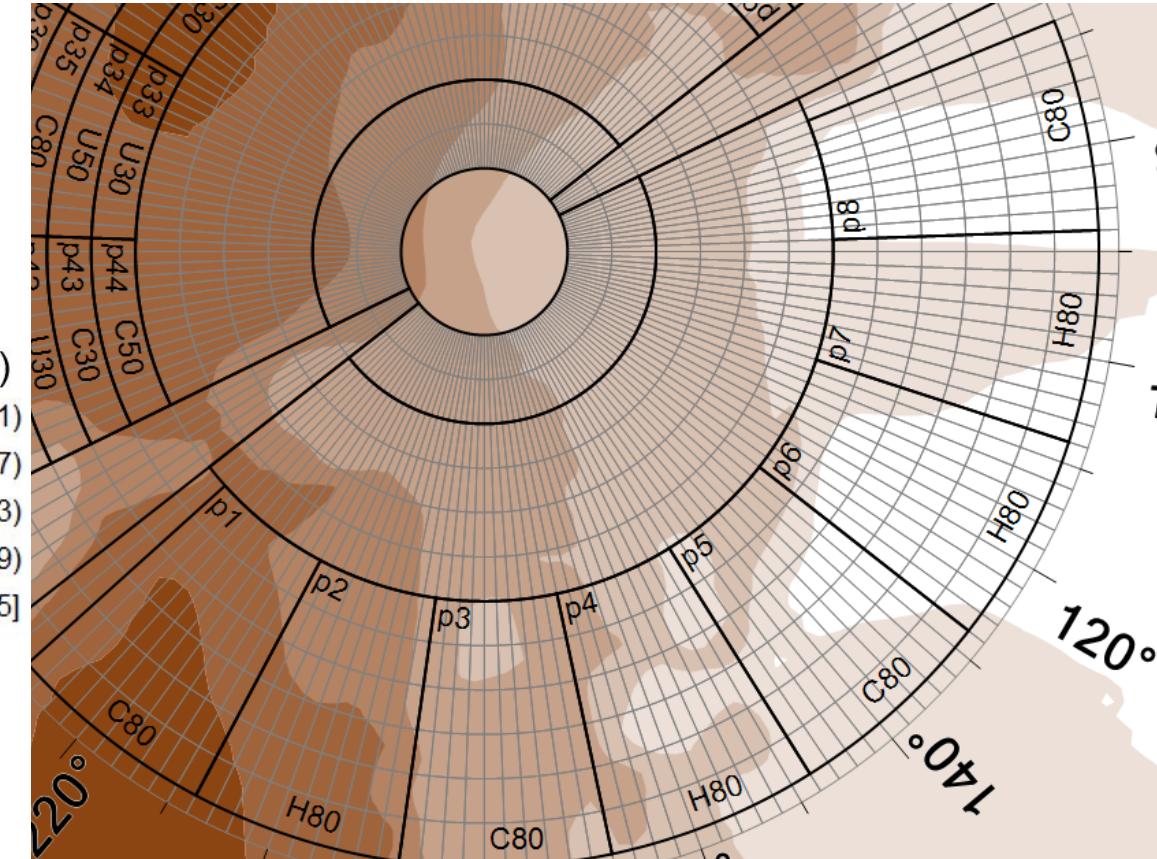


ARSPivot: análisis post cosecha

Mapa de producción de maíz (t/ha) generado con técnica de interpolación Krigging



Mapa de elevaciones (m)



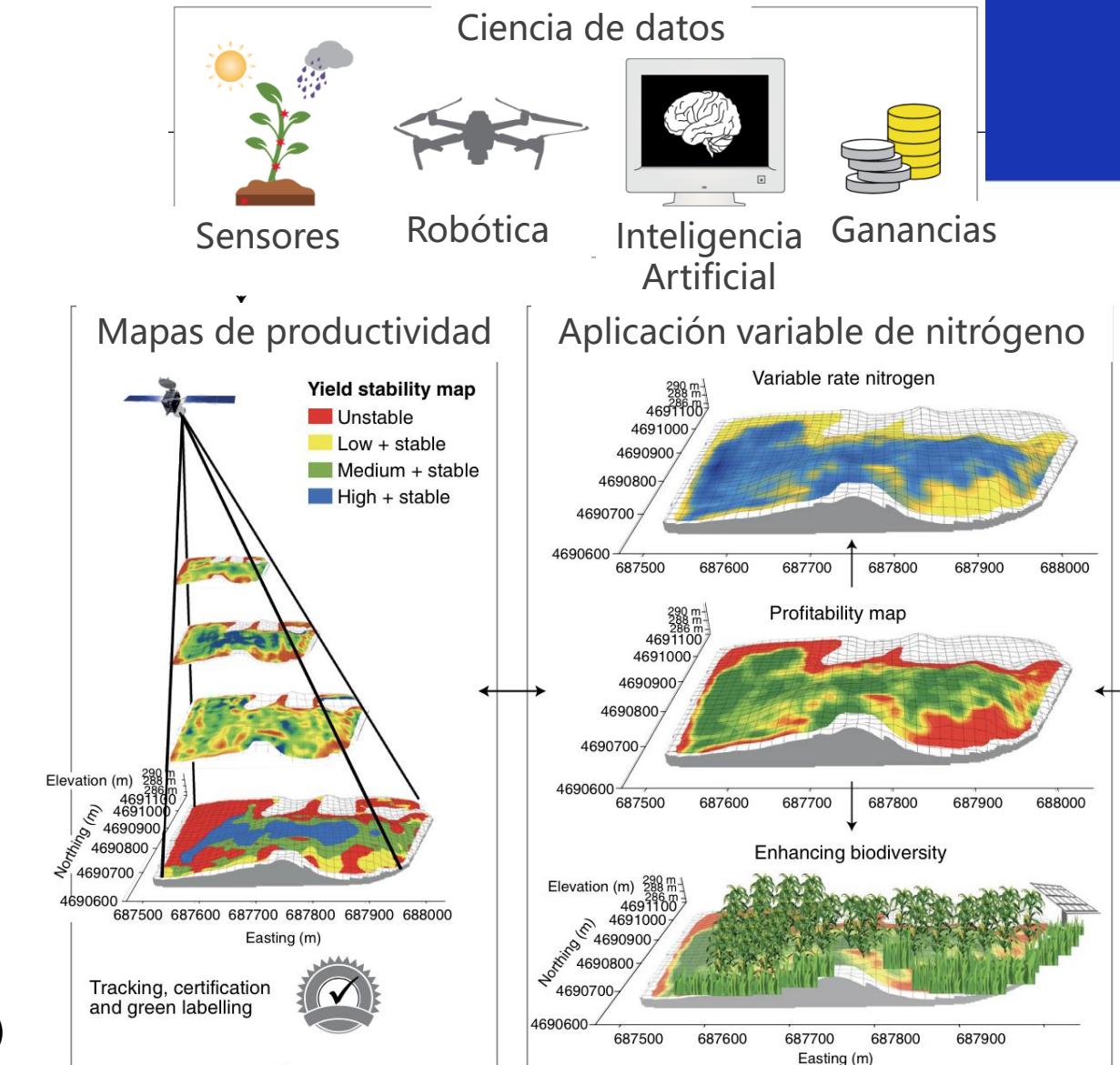


Evolución de la agricultura

Cuarta revolución

- Agricultura digital: aplicación de la ciencia de datos a la agricultura (2010s)
- Objetivo: minimizar el uso de recursos requeridos para la producción
 - Incrementar ganancias
 - Minimizar el impacto ambiental de la agricultura

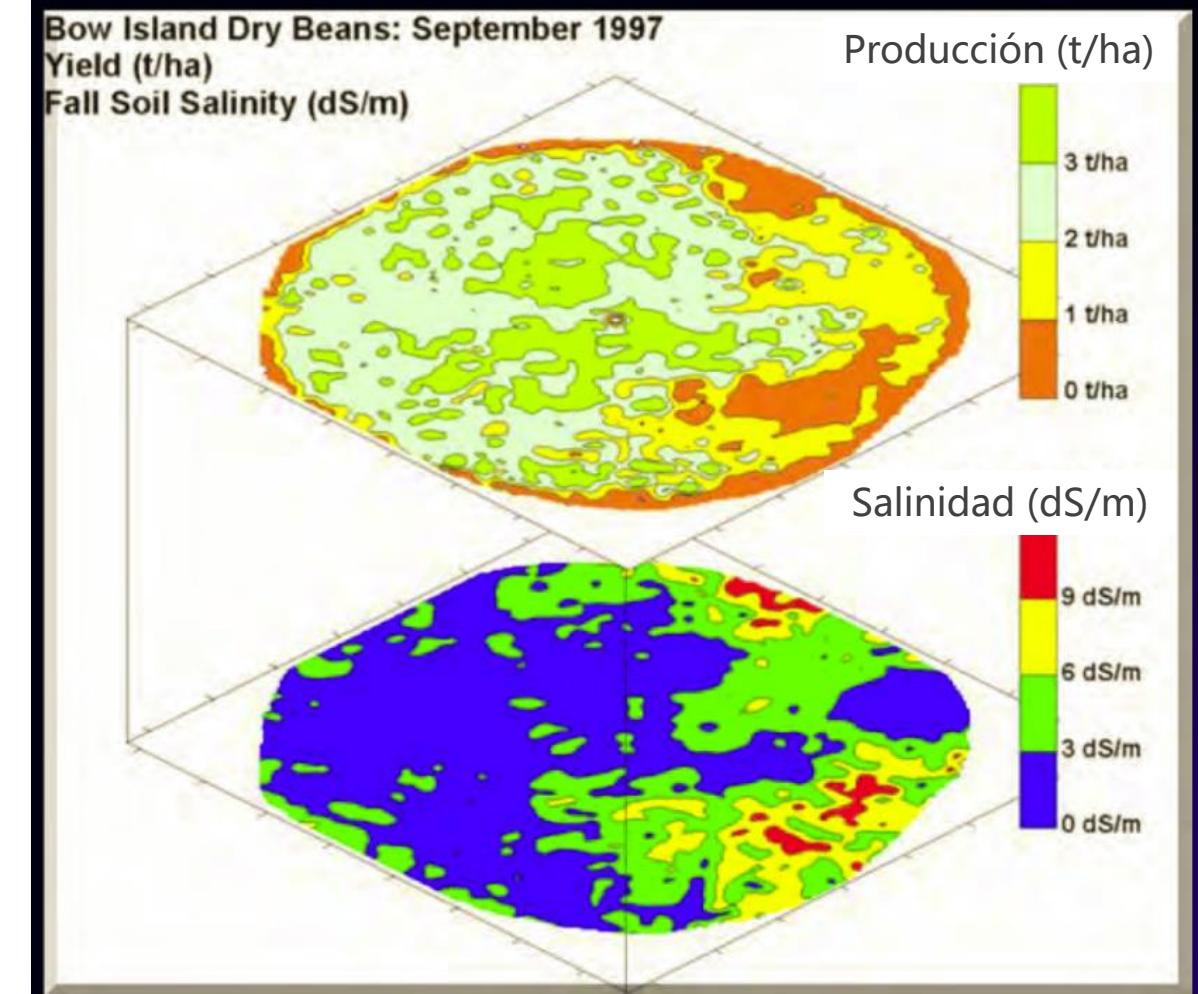
Fuente: Basso y Antle (2020)



Agricultura Digital: Agricultura de Precisión + Ciencia de Datos

Intensificación Sustentable

La intensificación sustentable consiste en identificar zonas de un terreno en dónde la productividad es consistentemente alta con el objetivo de incrementar la producción en estas zonas y reducir (o evitar) la producción en otras zonas dónde la producción es consistentemente baja.



Mapa de conductividad eléctrica (EC) utilizado para estimar la salinidad del suelo y su efecto en la productividad de un cultivo de frijol



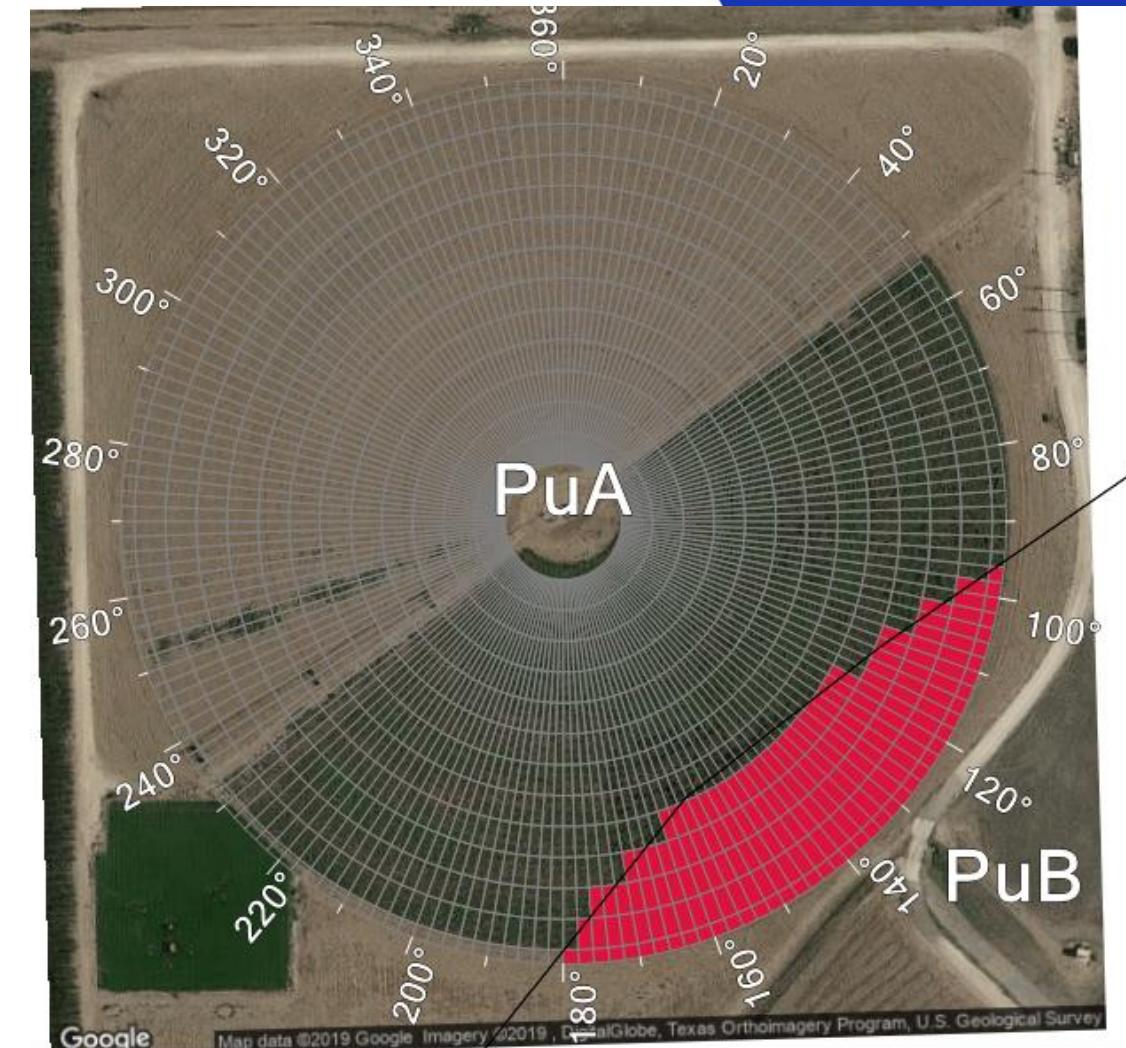
Riego deficitario de precisión

Riego deficitario

- Regar un cultivo sin satisfacer la totalidad de sus necesidades hídricas (Evapotranspiración)

Riego deficitario de precisión

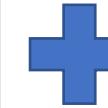
- Riego de precisión en donde zonas con productividad consistentemente alta reciben un riego completo (ó mínimo riego deficitario) y zonas con productividad consistentemente baja reciben riego deficitario (ó ningún riego)





Optimización de la calendarización del riego deficitario

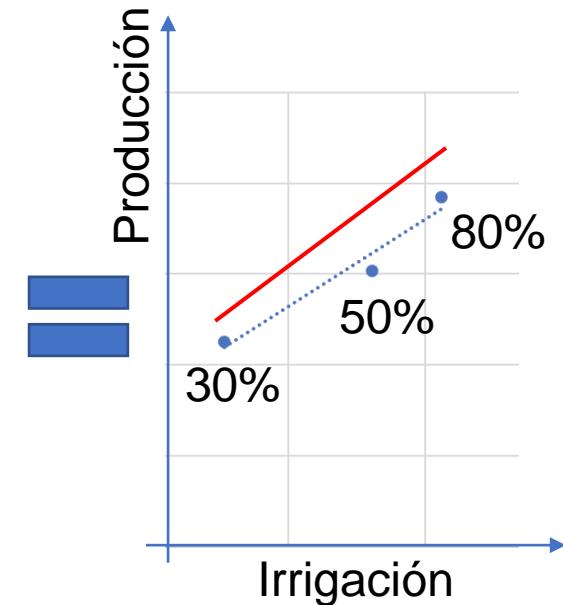
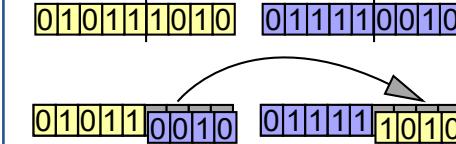
Sensores meteorológicos,
de humedad del suelo y de
temperatura de las plantas

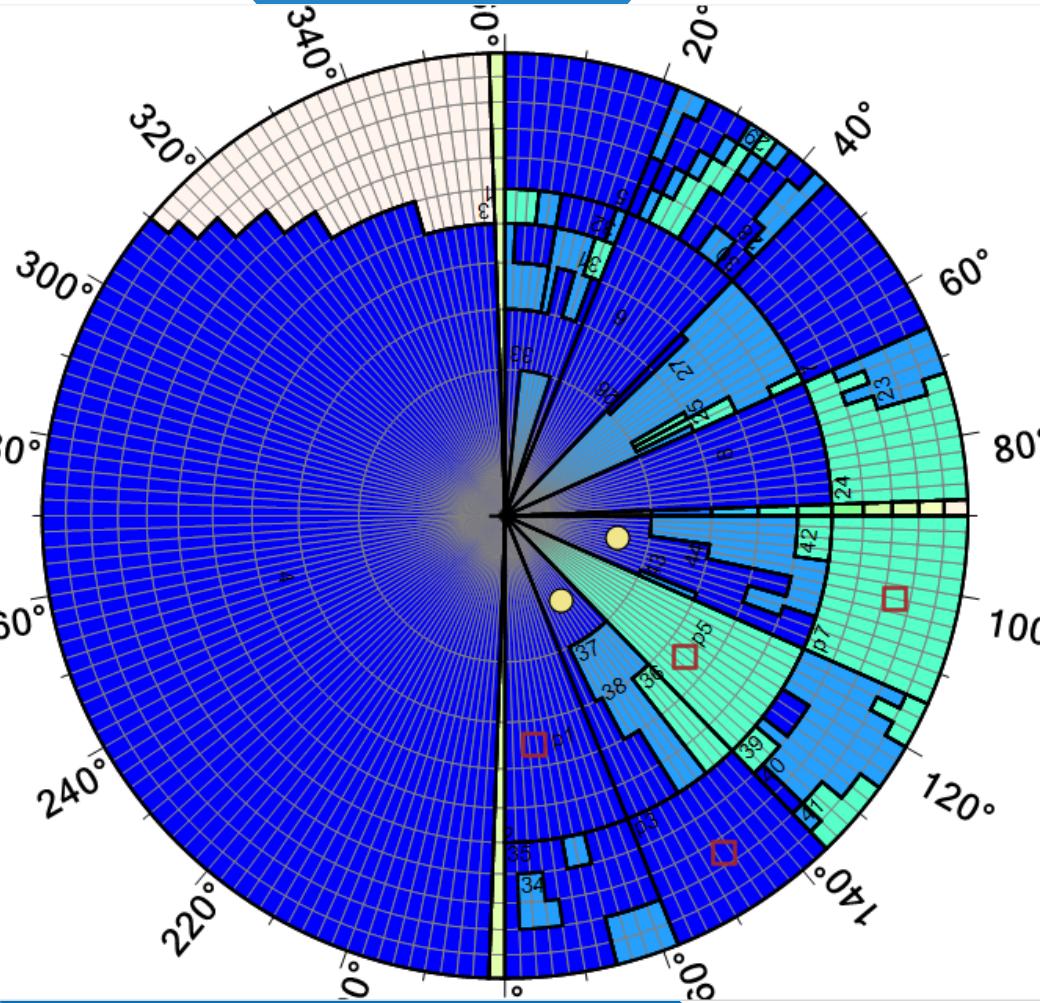


Modelos de cultivos / Inteligencia Artificial



Métodos de optimización





Preguntas?

Manuel Alejandro Andrade Rodríguez

Departamento de Ciencias de la Agricultura, Veterinaria y
Manejo de Pastizales, Universidad de Nevada, Reno

andradea@unr.edu

Steven R. Evett

USDA-Servicio de Investigación Agrícola, Bushland, Texas

steve.evett@usda.gov