

Enfoques del Manejo Sitio-Específico de Nitrógeno en Maíz

Matías L. Ruffo

Cátedra de Fisiología de Cultivos
Universidad de Illinois



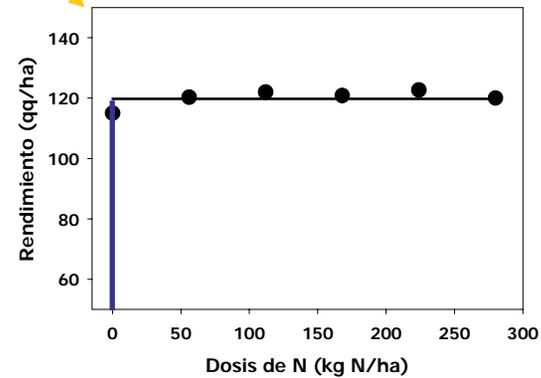
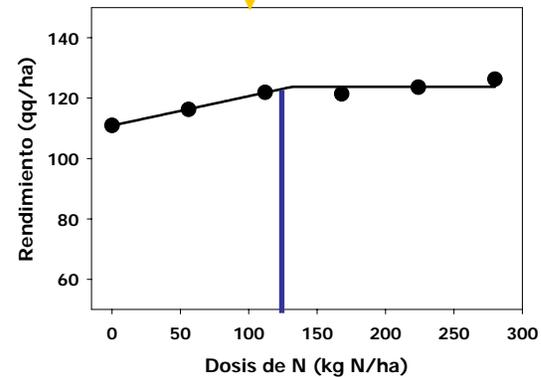
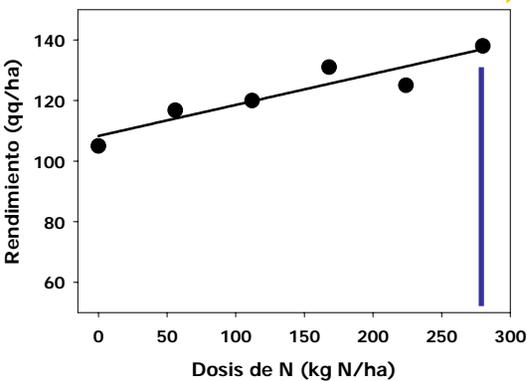
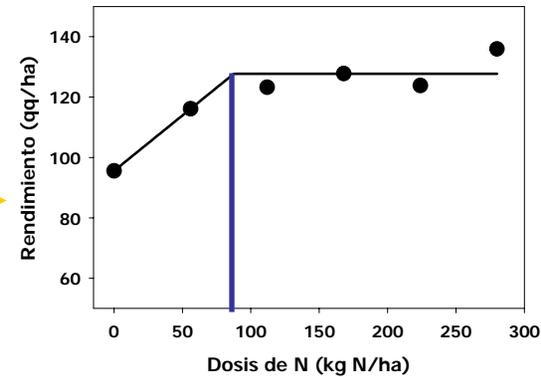
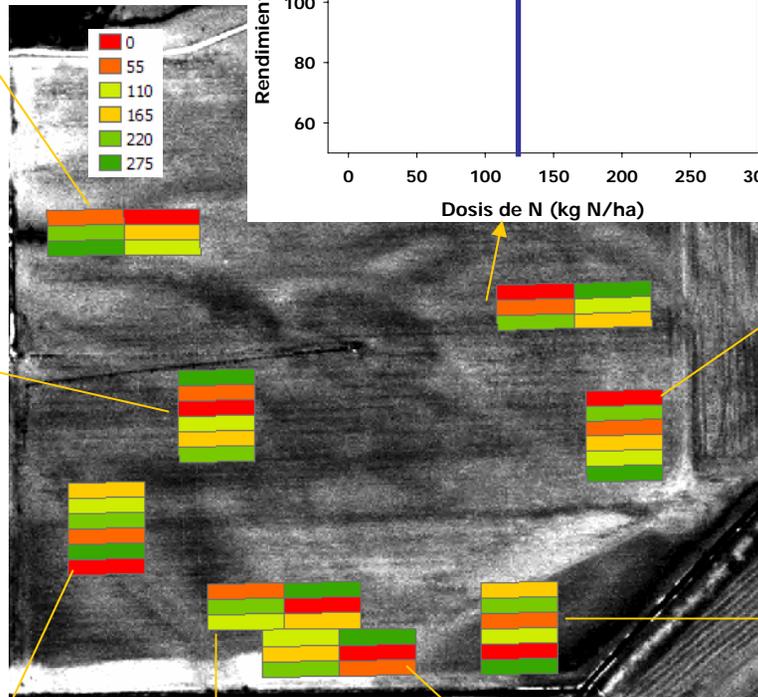
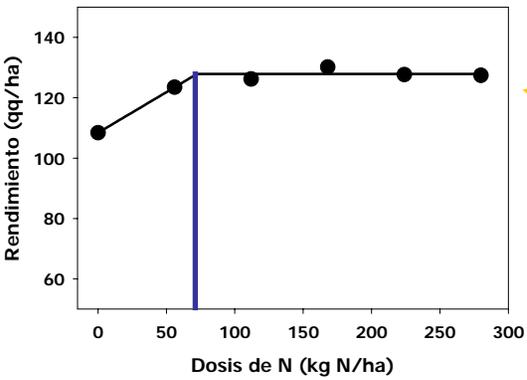
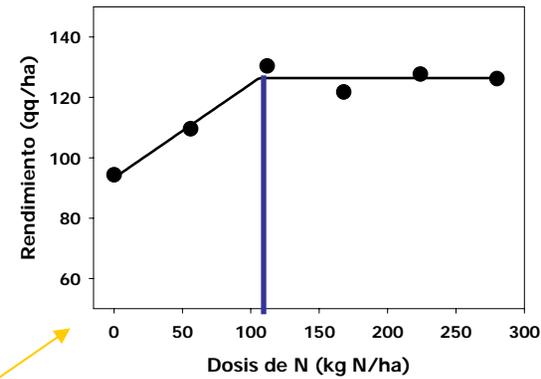
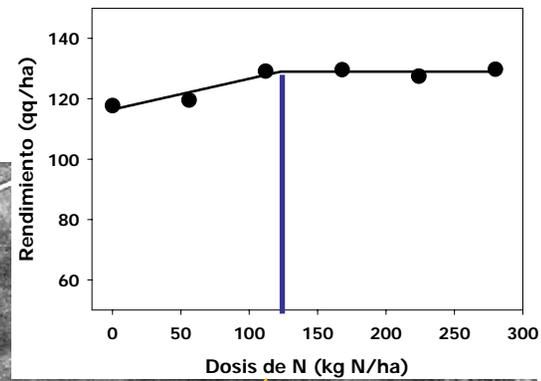
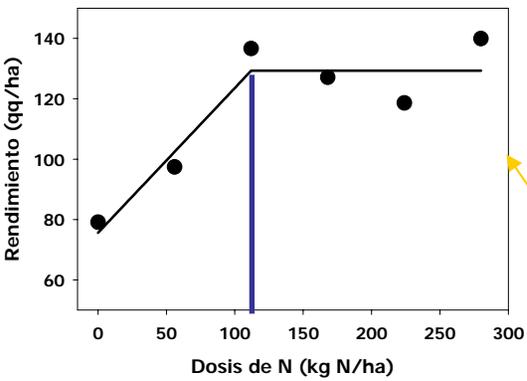
Tenemos que Mejorar la Eficiencia de Uso del N

- Incremento del Costo del Nitrógeno
- Creciente Presión Ambiental

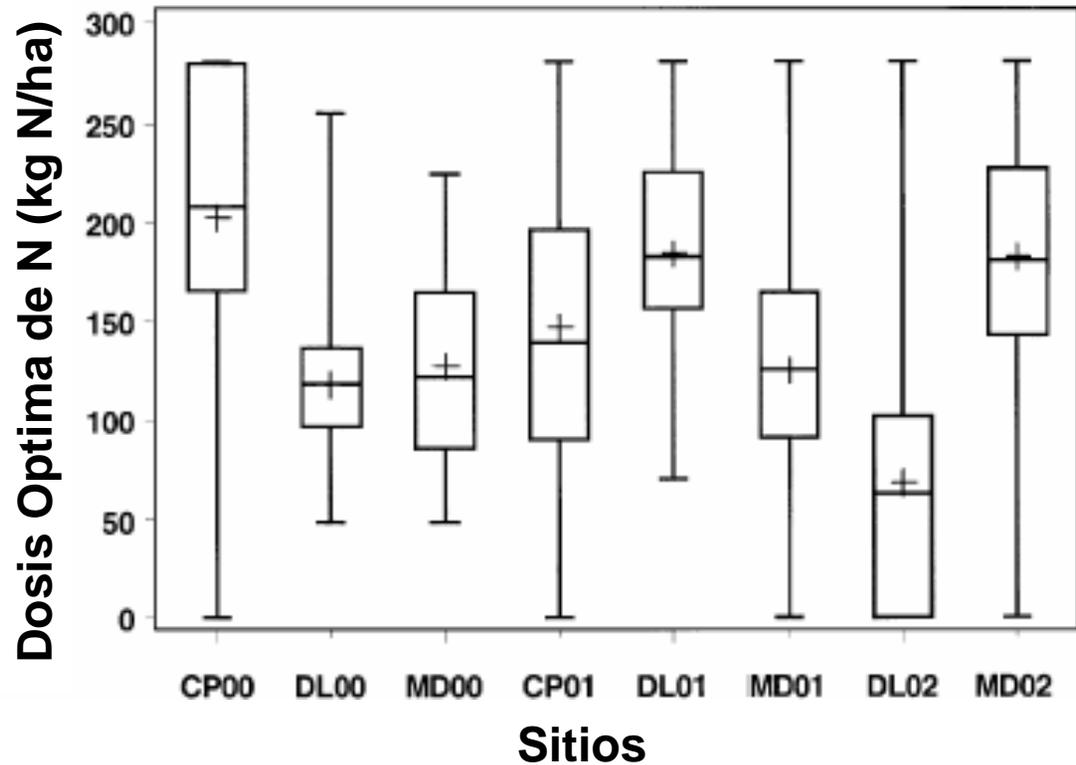
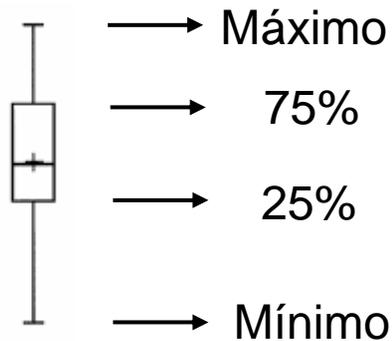
La AVN es una herramienta para incrementar la EUN

Condición para la AVN

**La Dosis Optima de N debe
variar espacialmente**



Variabilidad de la Dosis Optima



Condiciones para la AVN

La Dosis Optima de N debe variar espacialmente

- **Predecir la Dosis Optima de N**

**Presentar y analizar las
diferentes metodologías en
desarrollo y uso para la AVN
en maíz**

Dos Estrategias Principales

- Reactivas

- Basadas en el cultivo
- Corregir cuando existan deficiencias
- Utilizan sensores

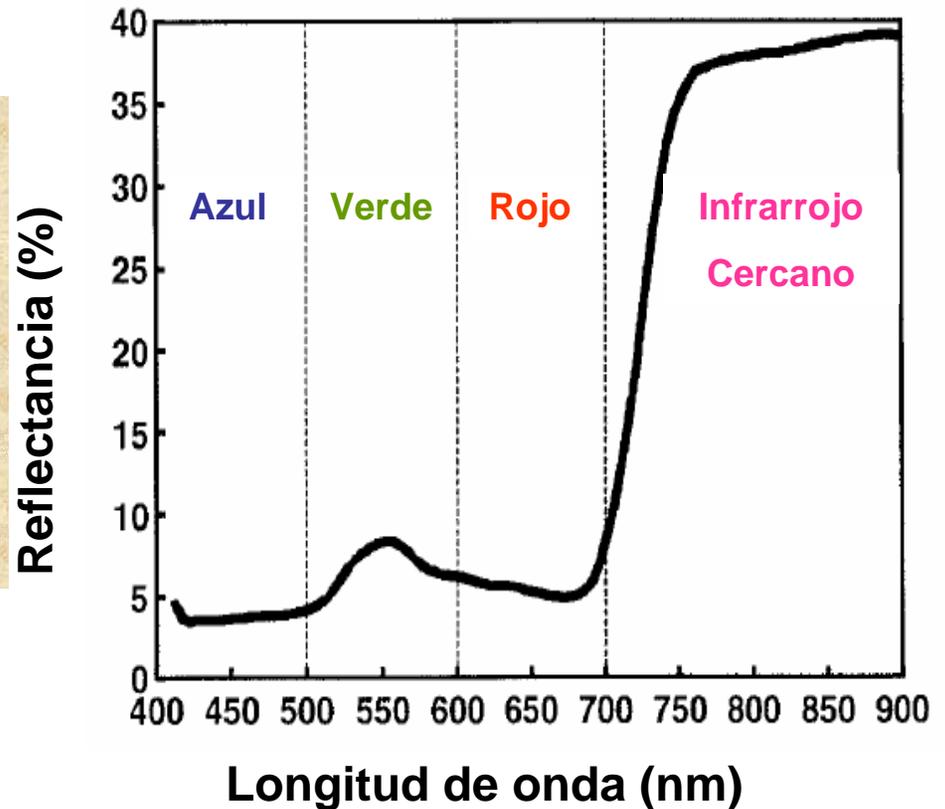
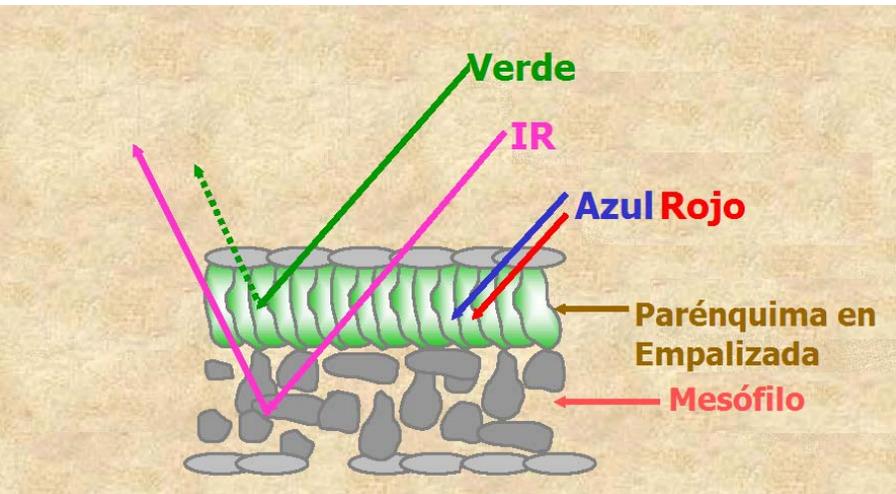
- Proactivas

- Prevenir deficiencia
- Basadas en información georeferenciada
- Múltiples enfoques
- Prescripción

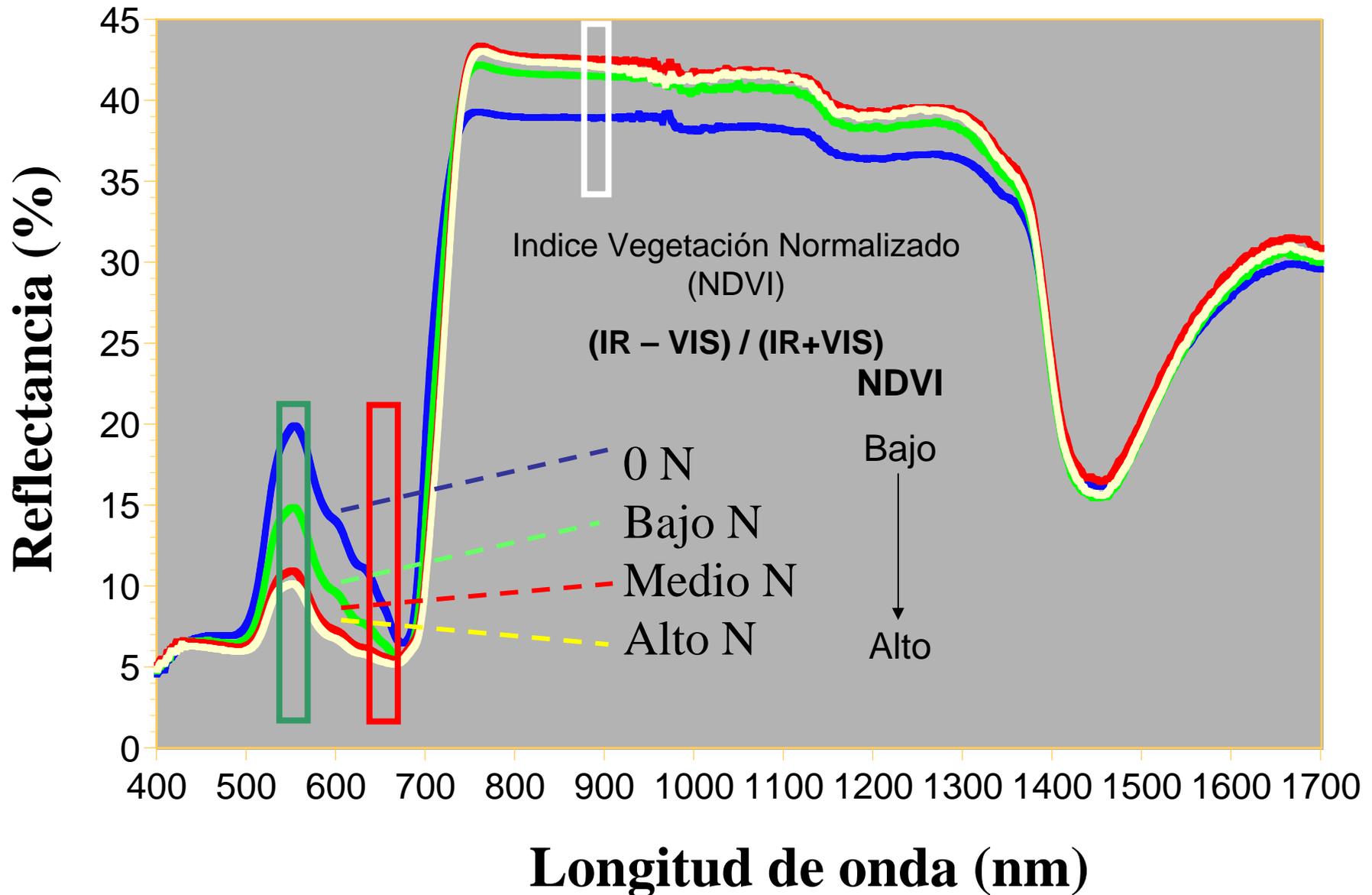
Estrategias Reactivas

- Determinar el estado nutricional del cultivo
- Sensores Remotos:
 - Plataformas satelitales, aéreas o terrestres
- Indices de Vegetación
 - NDVI

Sensores Remotos: Fundamentos

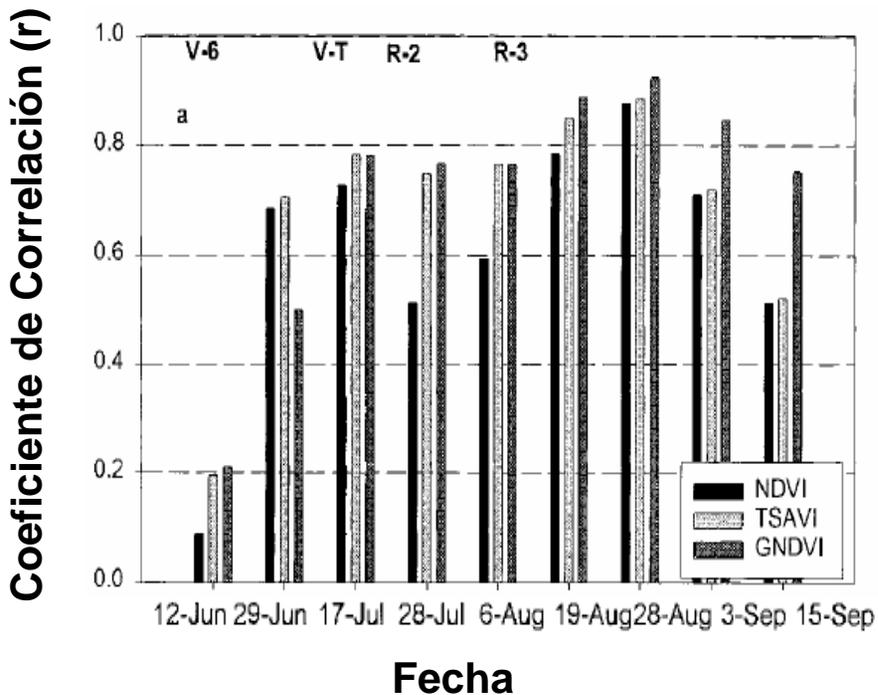


Indice de Vegetación Normalizado (NDVI)



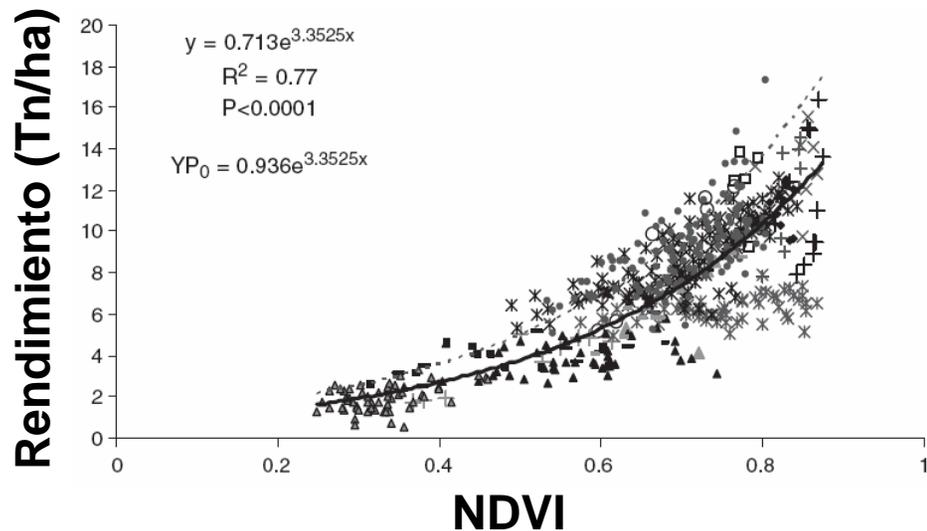
Predicción del Rendimiento de Maíz

Sensor multispectral montado en avión



Shanahan y col. 2001

GreenSeeker en 8 hojas

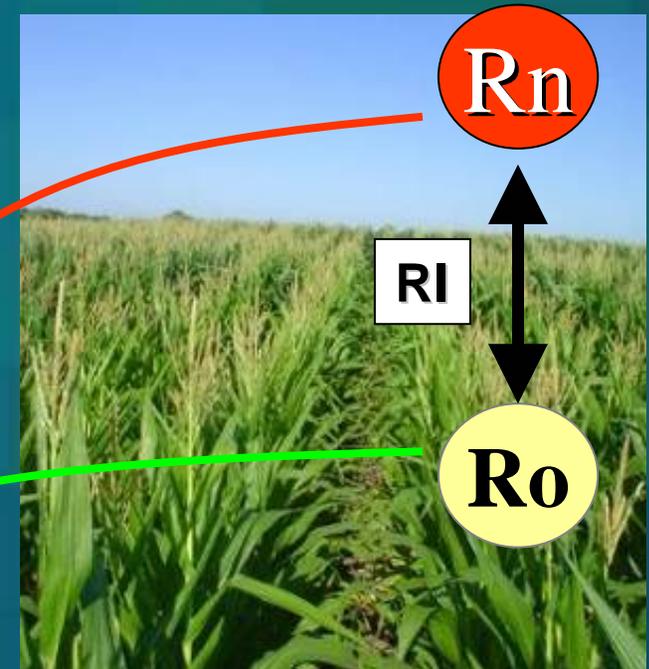


Teal y col. 2006

Algoritmo de OSU

1. **Franjas de suficiencia** (por ej. $N > 150 \text{ kg N/ha}$)
2. **Lectura** de NDVI en estadios tempranos (8 - 12 hojas)
3. Predicción de rendimiento: $f(\text{NDVI}/\text{dds})$ vs. Rendimiento)
4. Índice de respuesta $\text{IR} = \text{NDVIFS} / \text{NDVI}$
5. Predicción de Rendimiento con N. $\text{NYPN} = \text{YP0} * \text{RI}$
6. Calculo de dosis = $(\text{N grano YPN} - \text{N grano YP0}) / 0.7$

Siembra
septiembre



Sensores de Cultivo

- No requieren información de sitio
 - Calibrar/desarrollar el algoritmo en cada zona
- Aplicable a varios cultivos
- Nitrógeno no es el único factor que afecta el NDVI
- Ventana de oportunidad acotada
 - Deficiencia severa de N a V8 puede no ser recuperable con fertilización posterior
 - Logística y capacidad operativa

Estrategias

- **Reactivas**

- Corregir cuando hay deficiencias
- Basadas en el cultivo
- Utilizan sensores

- **Proactivas**

- **Prevenir deficiencia**
- **Basadas en información georefenciada**
- **Prescripción**
- **Diferentes enfoques**

Estrategias Proactivas

Complejidad



- Adaptación de Recomendaciones
- Aplicación por Ambientes/Zonas de Manejo
- Modelos de respuesta sitio-específica

Adaptación de Recomendaciones

Ejemplo:

En Kansas, la dosis de N depende de:

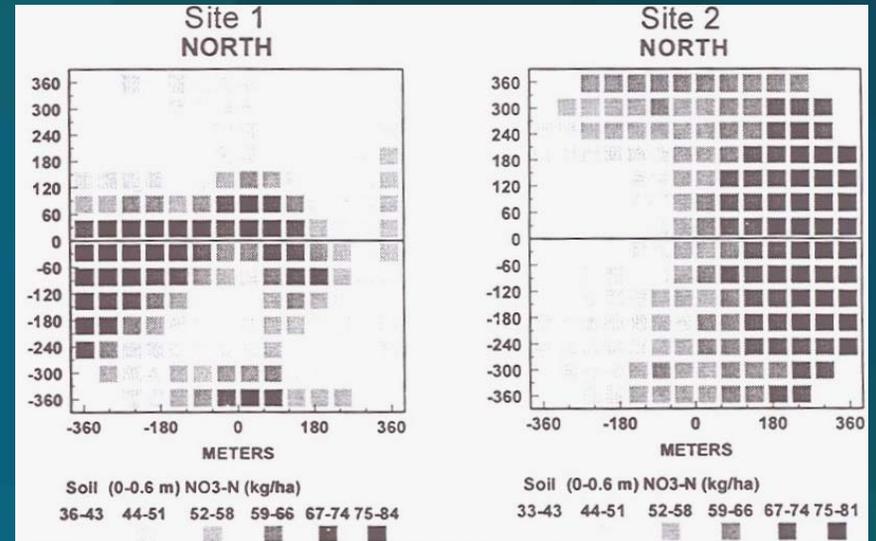
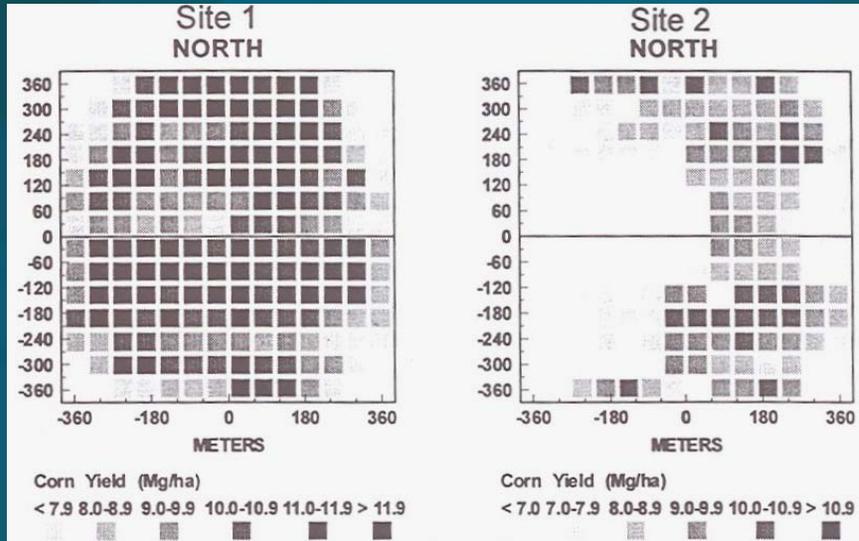
Rendimiento esperado y Nitratos

$$N = \text{Rendimiento} \times 24 - 0.94 \times \text{Nitratos}$$

Rendimiento

Promedio de 3 años

Nitratos (0-60 cm)



$$N = \text{Rendimiento} \times 24 - 0.94 \times \text{Nitratos}$$

Aplicación por Ambientes o Zonas de Manejo

- **Basadas en el cultivo**

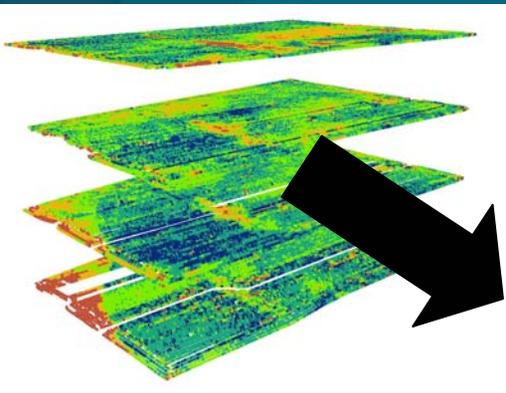
- Imágenes: NDVI
- Mapas de Rendimiento

- **Basadas en Características Sitio-Específicas**

- Sensores de suelo: Conductividad Eléctrica
- Topografía: Modelos Digitales de Terreno
- Muestras de Suelo

Ambientes Basados en el Cultivo

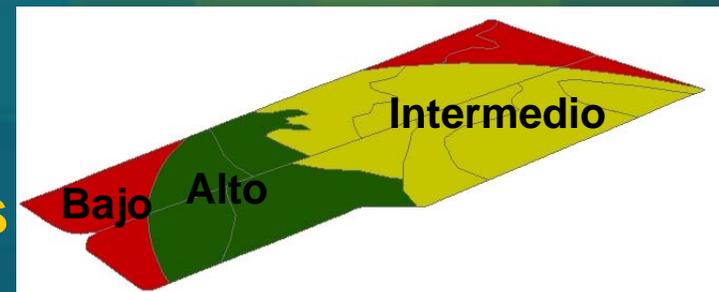
Mapas de Rendimiento o
Imágenes de Varios Años



Agrupamiento en Clases:
Análisis de Cluster



Mapa de Ambientes



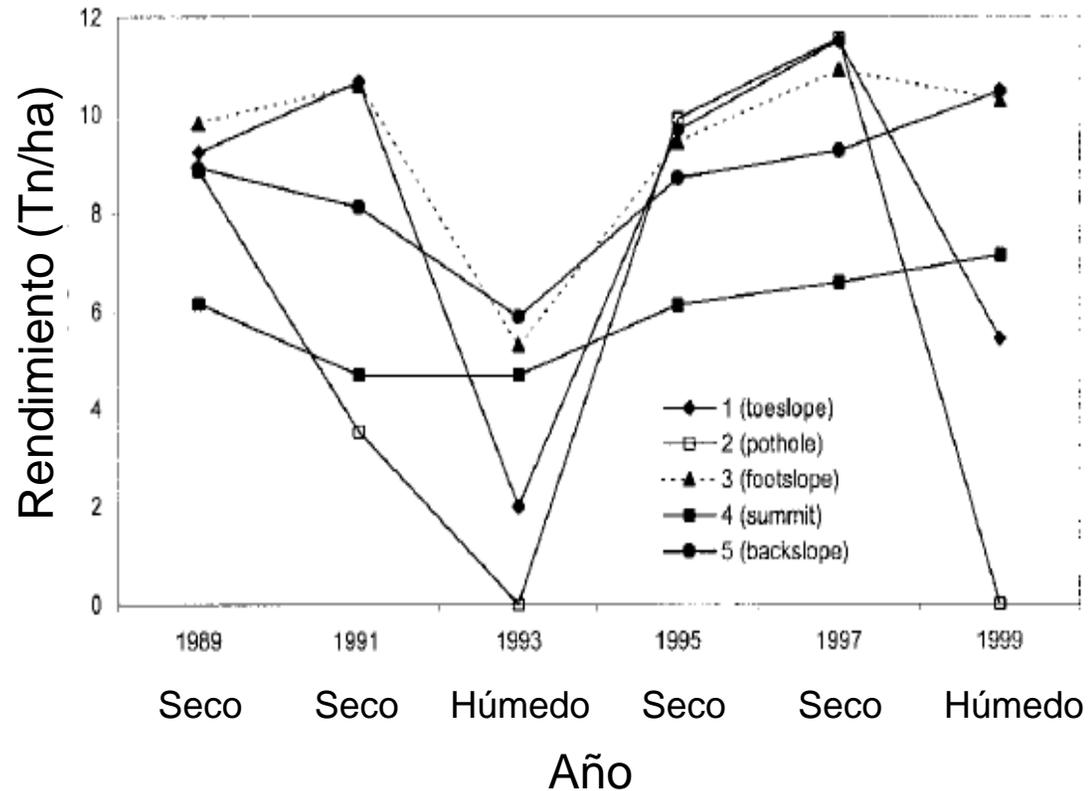
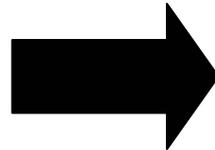
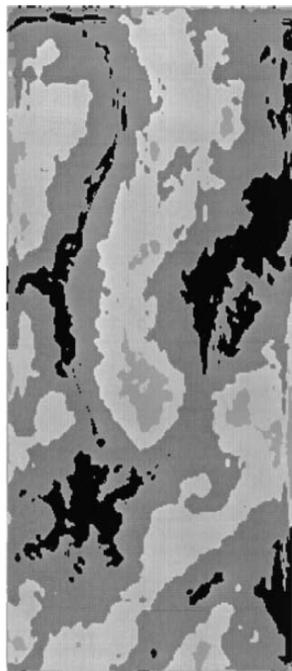
Interpretación: factores limitantes

Ambientes Basados en Características Sitio-Específicas

- Muy poca experiencia en Argentina
- Una vez desarrollada la metodología, no se requieren varios años de datos de cultivo
- Utilizan fuentes de datos de alta densidad
 - Sensores de suelo
 - Imágenes o fotos de suelo
 - Modelos de Terreno
- Requieren de interpretación agronómica local

Ambientes Basados en Características Sitio-Específicas

6 años de mapas de rendimiento de maíz



Determinar Ambientes Mediante el Uso de Características Sitio-Específicas

Elevación

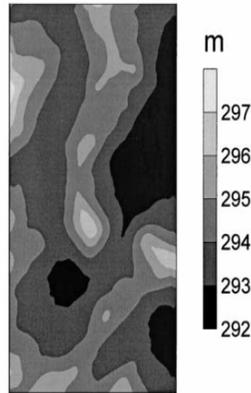
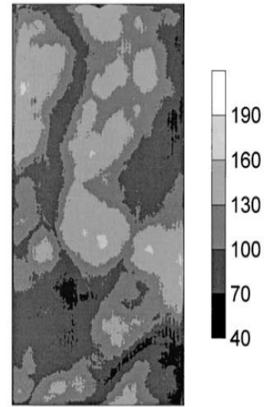
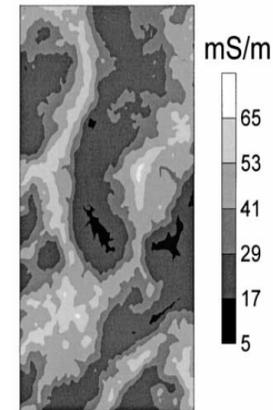


Foto Suelo



CE

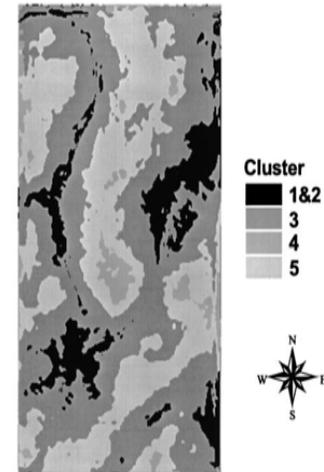


Elevación

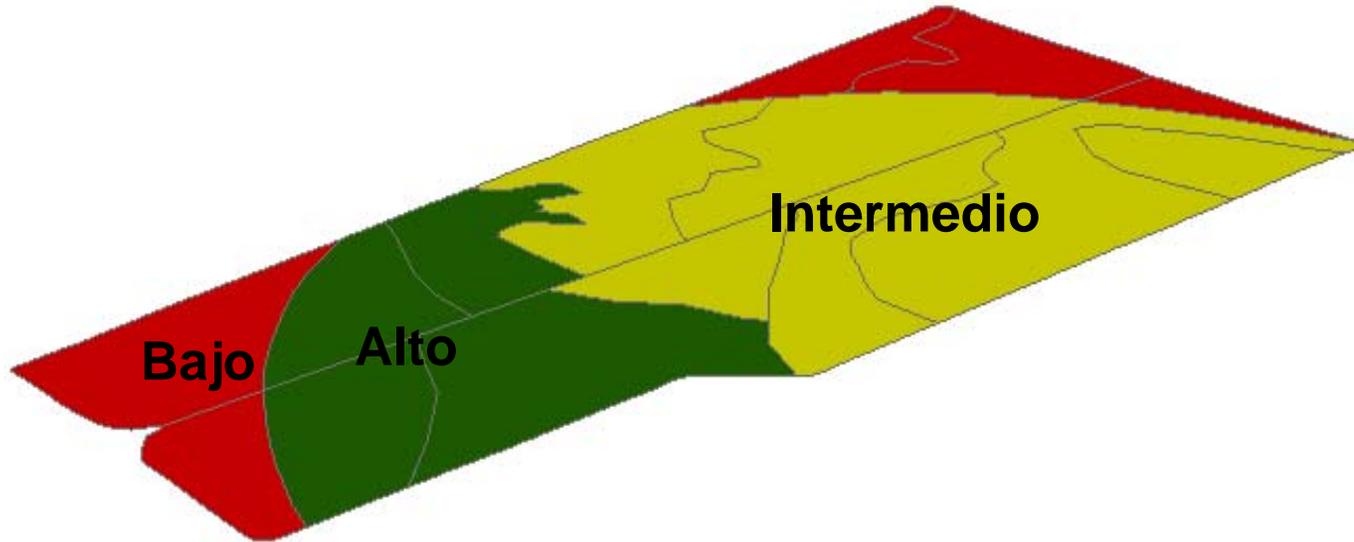
Pendiente

Curvatura

Conductividad Eléctrica

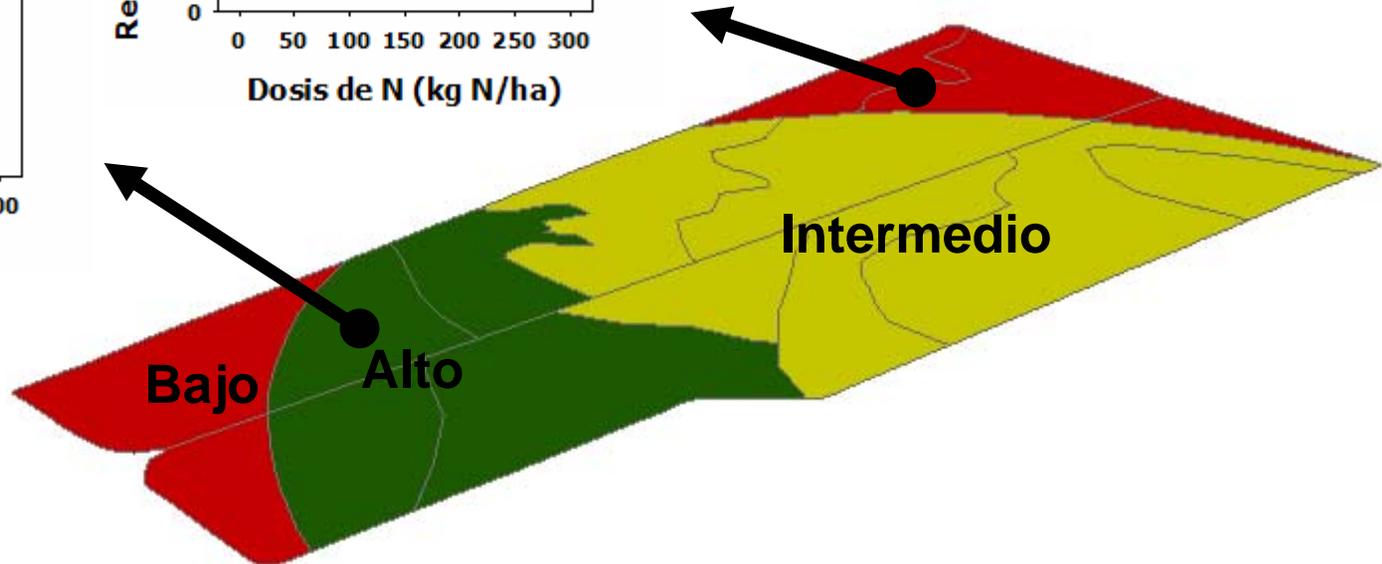
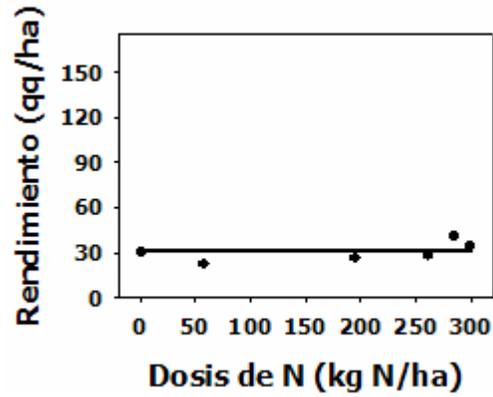
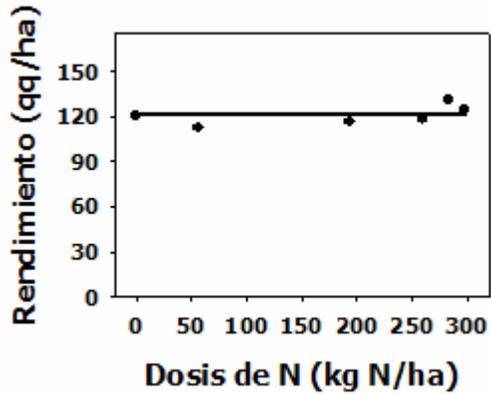


Ambiente vs Zona de Manejo

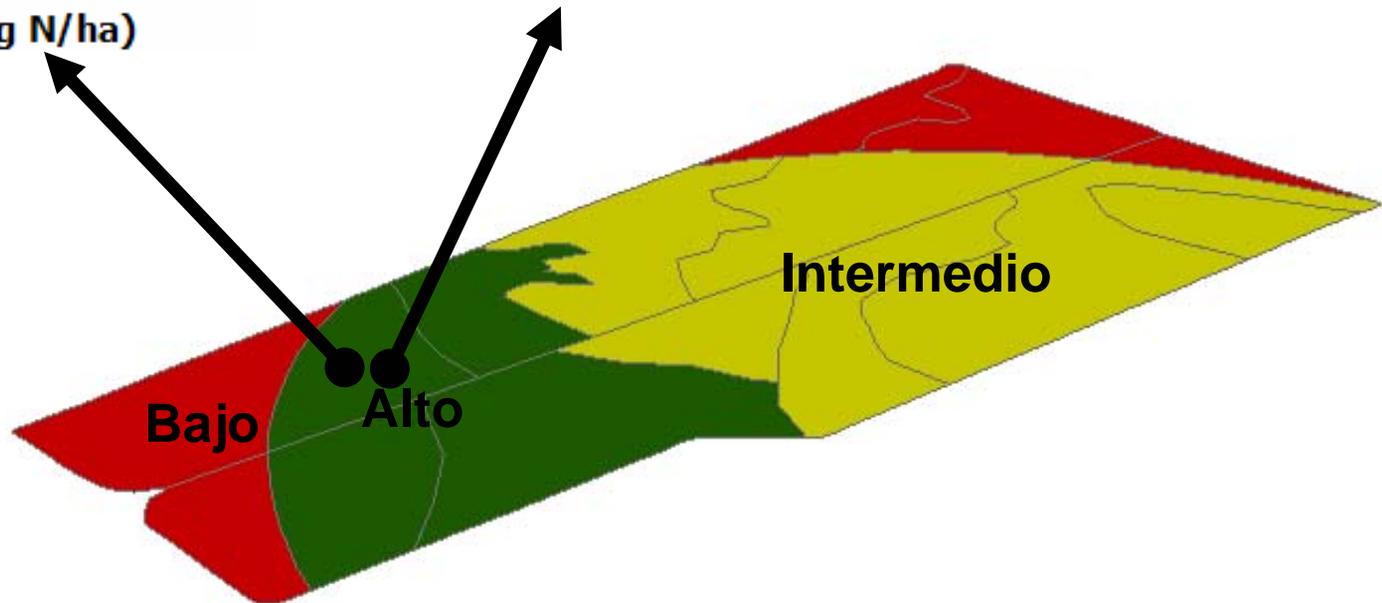
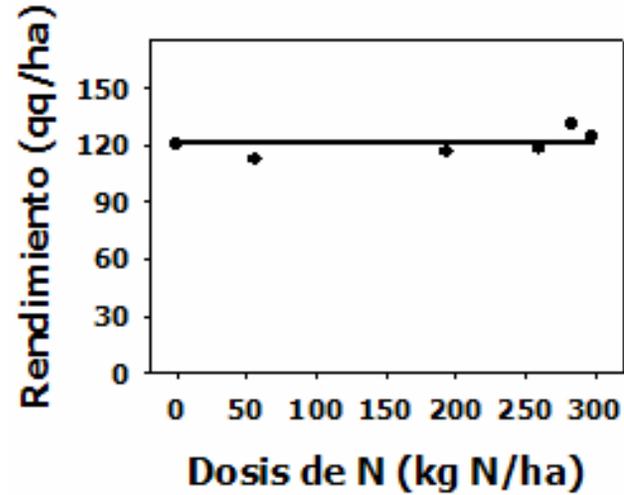
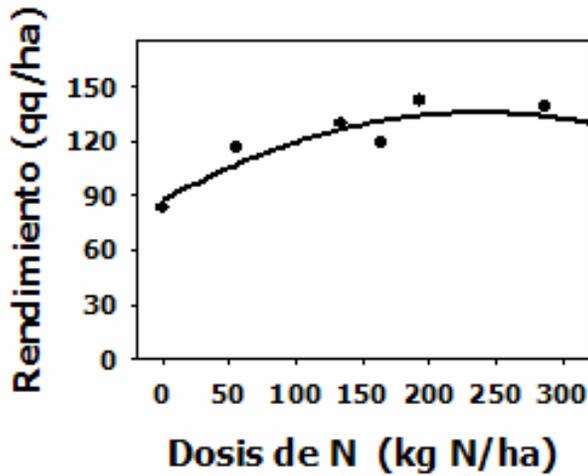


¿Cómo se maneja cada ambiente?

Respuesta por Ambientes



Es imprescindible conocer la respuesta en cada ambiente



Estrategias Proactivas

Complejidad



- Adaptación de Recomendaciones
- Aplicación por Ambientes/Zonas de Manejo
- Modelos de respuesta sitio-específica

Modelos de respuesta sitio-específica

El rendimiento es función de:

- **Insumos**

Variables de Manejo: Dosis de Nitrógeno

- **Características Sitio-Específicas**

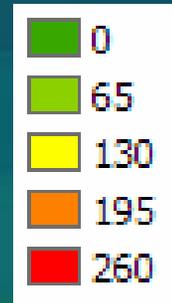
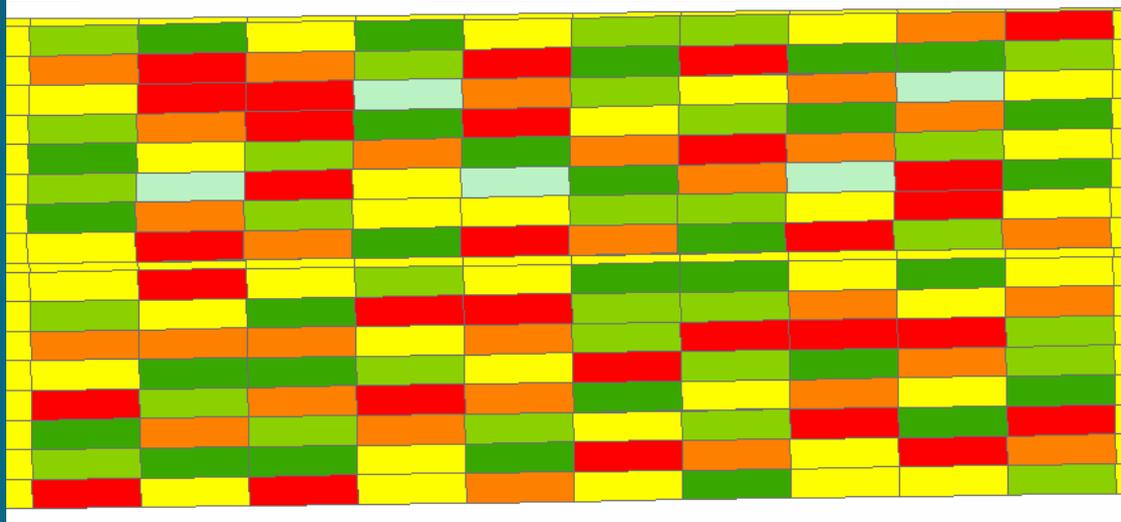
MO, Topografía, Textura, etc

- **Interacción entre ellos**

Modelos de respuesta sitio-específica

1. Ensayos de respuesta: Dosis de N
2. Medición de Características Sitio-Específicas
3. Estimación del Modelo de Respuesta
4. Prescripción: Calculo de Dosis Optima de N

Ensayos de Respuesta

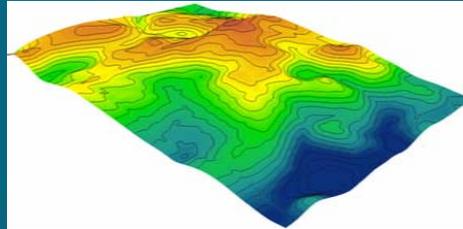


Medición de Características Sitio-Específicas

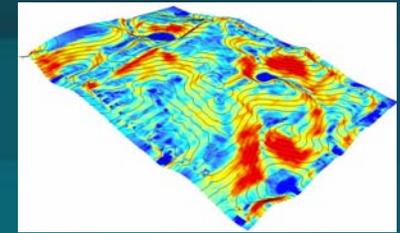
Relevamiento Altimétrico



Elevación



Pendiente



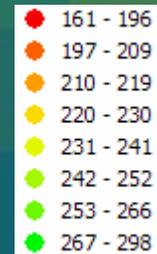
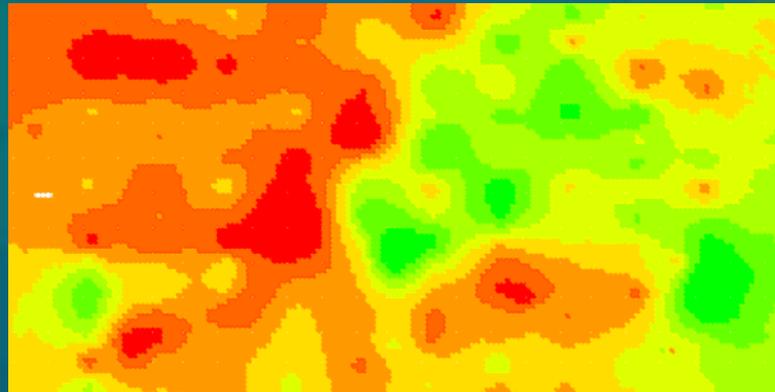
Area de Cuenca Específica (ACE)



Muestreo Georreferenciado de Suelos

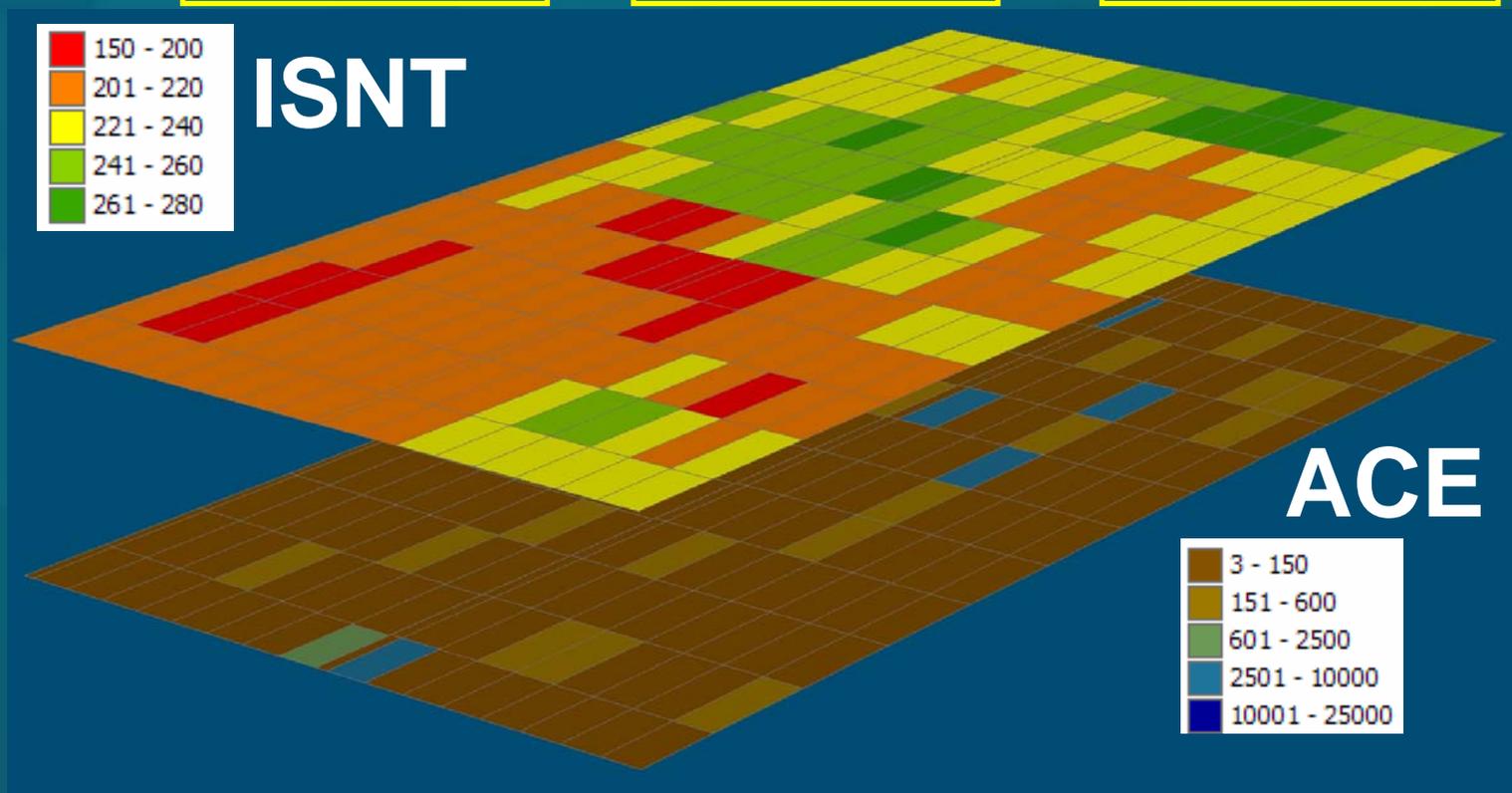


ISNT: N Mineralizable

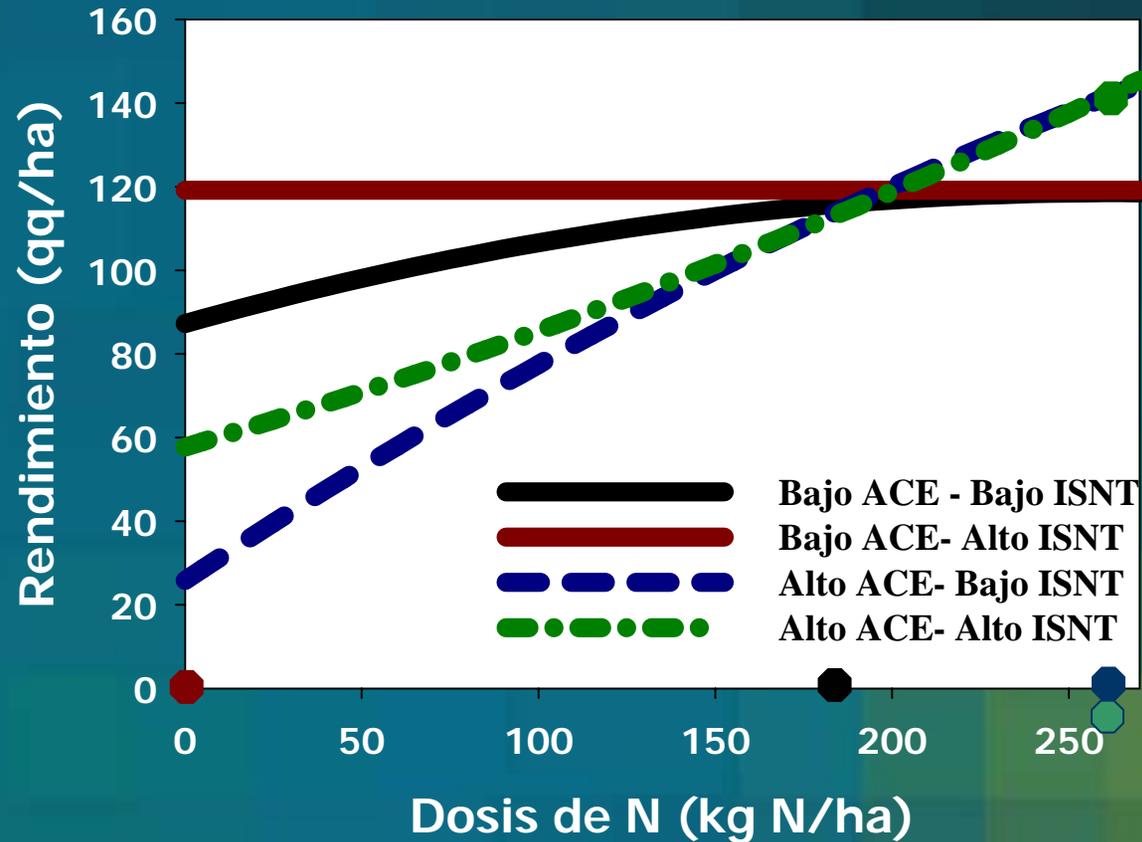


Modelo de Respuesta

$$\text{Rend.} = a + N - N^2 - \text{ACE} + \text{ISNT} + \boxed{N \text{ ACE}} - \boxed{N \text{ ISNT}} + \boxed{N^2 \text{ ISNT}}$$

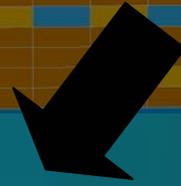
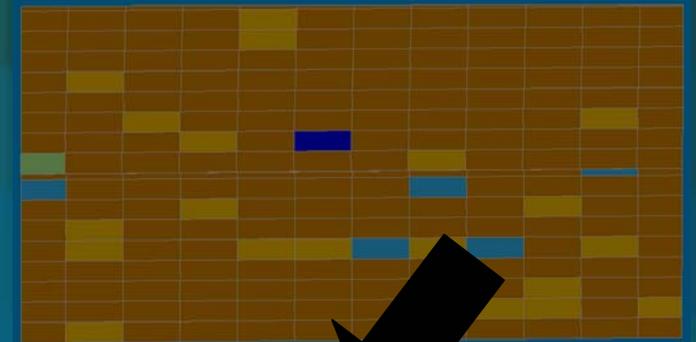


Cálculo de Dosis Optima de N



ISNT: N Mineralizable

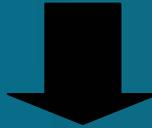
ACE: Drenaje



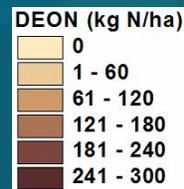
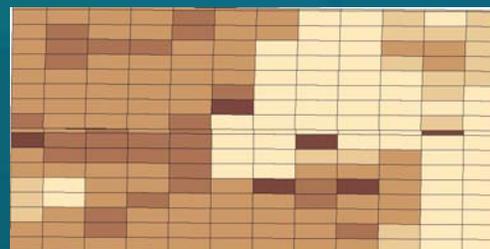
Modelo de Respuesta



Cálculo de Dosis Optima



Prescripción



Modelos Sitio-Específicos de Respuesta

- Son completamente empíricos
- Requieren mayor desarrollo y costo
 - Mapeo de características sitio-específicas
 - Ensayos de respuesta
- Ayudan a entender las causas de la variabilidad de rendimiento y respuesta a N

Comentarios Finales

- **Diversas metodologías para la AVN**
 - **Difieren en complejidad**
- **No hay estudios comparativos**
- **Combinación de metodologías**
 - **Por ej. sensores por ambientes**

Comentarios Finales

- **Disponibilidad de servicios es un factor limitante**
- **Comenzar con enfoques más sencillos e ir sumando información y experiencia**
- **Trabajo en equipo interdisciplinario**

¡Gracias!