

# Precisión Agrícola

Autor: Wayne H. Thompson, Ing. Agr.

Edaphos International - <http://www.edaphos.com>

Patrocinan: Tyler Industries, Inc. (1997) - Benson, MN EEUU, y  
Jose Aiello e Hijos S.A. - Tres Arroyos, BA Argentina

# Introducción

En la actualidad estamos asistiendo a una auténtica revolución agrícola en la que máquinas computarizadas recogen y procesan una gran cantidad de información sobre la variabilidad de los campos de cultivo y la utilizan, de forma inteligente, para aumentar la calidad de las cosechas, a través de la racionalización del uso de fertilizantes y pesticidas.

Esta nueva agricultura, que utiliza alta tecnología informática y robótica basada en estudios científicos, se centra en la redistribución de los gastos económicos gracias a la aplicación pormenorizada de fertilizantes a granel y pesticidas así como a la siembra racionalizada de semillas y a la recolección monitorizada de la cosecha. Como consecuencia, esta agricultura promueve puestos de trabajo hacia especialidades más calificadas e incrementa los beneficios económicos, con un mínimo impacto ambiental.

En esta presentación pretendemos dar una visión global y simplificada sobre los conceptos tecnológicos y científicos que subyacen en la llamada "Precisión Agrícola" y así como transmitir la idea de que la adquisición gradual de infraestructura es la forma ideal de incorporarse a esta nueva tecnología.

# Indice de Temas

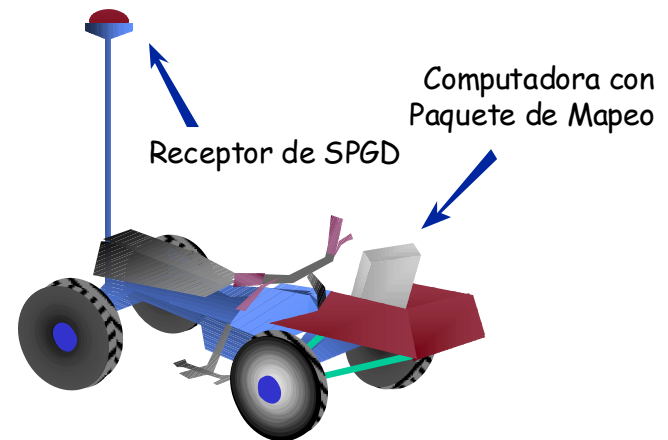
- ✘ Herramientas para el muestreo del suelo
- ✘ Sistema de Posición Global (GPS)
- ✘ Sistema de Información Geográfica (GIS) y mapas de aplicación
- ✘ Precisión Agrícola: Ejemplos
  - ➔ La cosecha
  - ➔ Manejo de pesticidas
  - ➔ La siembra
  - ➔ La labranza
  - ➔ Aplicación de fertilizantes a granel
- ✘ Requisitos en Precisión Agrícola
- ✘ Etapas en el estudio de variabilidad del suelo
- ✘ Mapas de Variabilidad

# Beneficios de la “Precisión Agrícola”

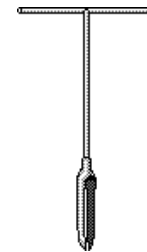
- ✘ Facilita las operaciones complejas
  - Uso de la tecnología de computadoras
  - Provee de personal calificado en computación
- ✘ Permite una planificación agronómica y económica mas racional
  - Simplificación del manejo de datos con nuevas paquetes de programas
  - Disponibilidad de sistemas expertos en aplicaciones de información espacial (mapas)
- ✘ Mejora la comprensión y el manejo inteligente de los recursos naturales

# Herramientas para el Muestreo del Suelo

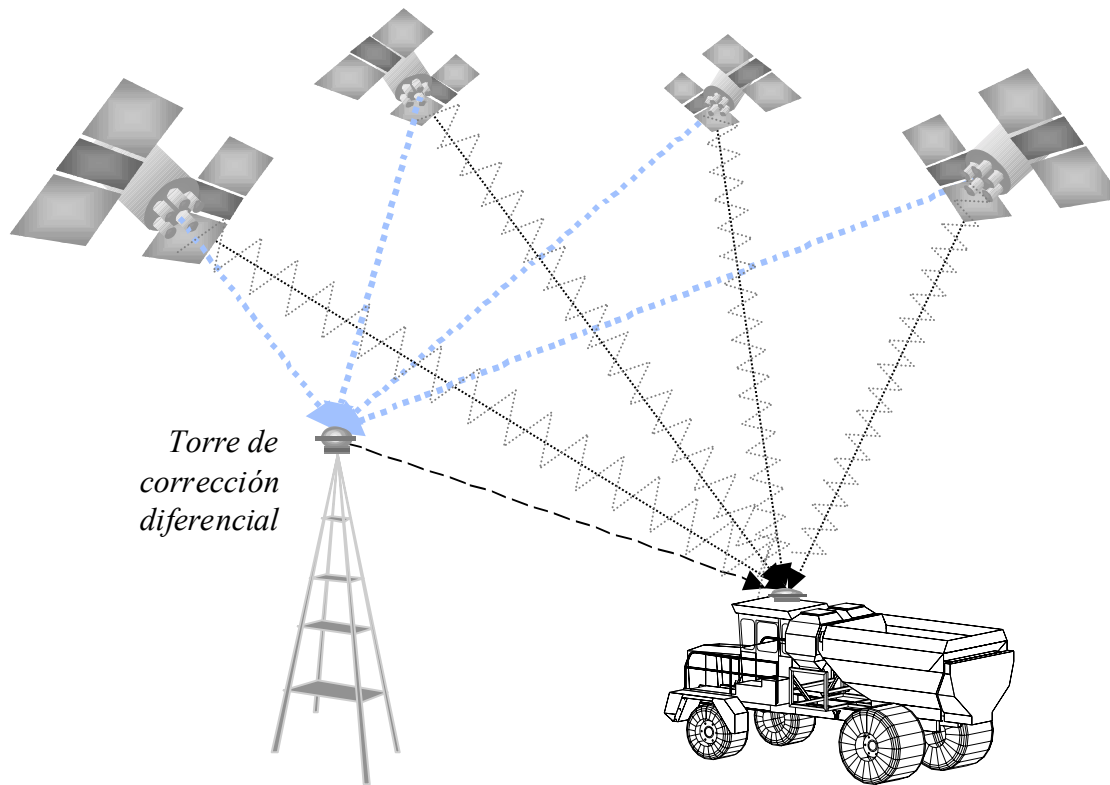
- ✘ Sistema de Posición Global, con corrección Diferencial (DGPS)
- ✘ Computadora con paquete de mapeo para marcar las coordenadas espaciales del terreno (suelo)
- ✘ Barreno de mano para toma de muestras del suelo



Barreno de Mano para toma de muestras del suelo

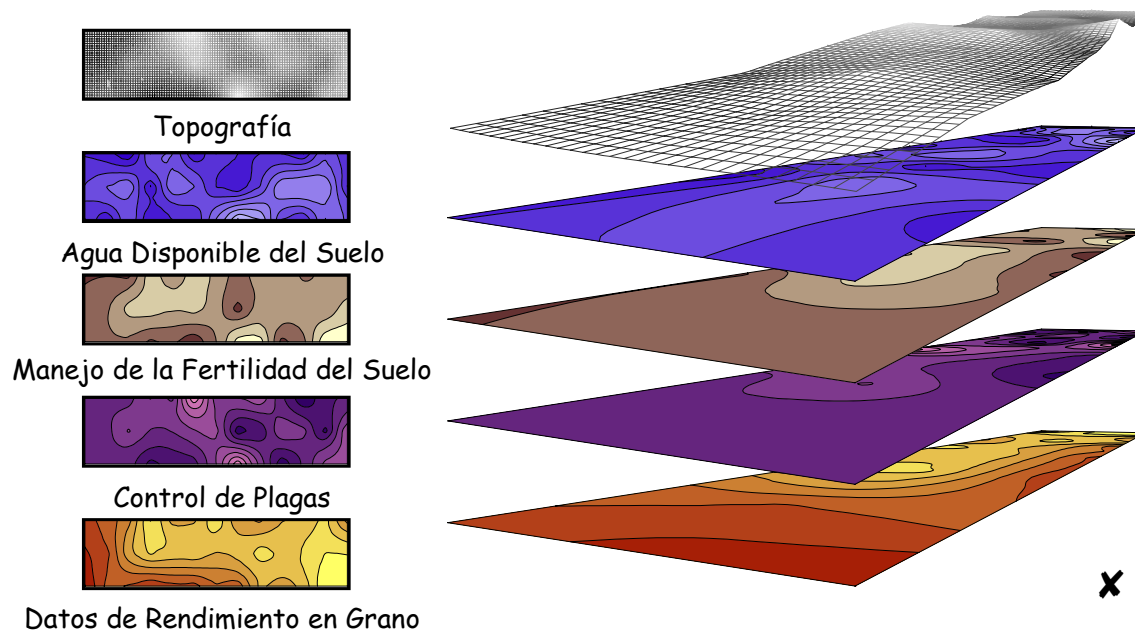


# Sistema de Posición Global con Corrección Diferencial (DGPS)



- ✗ Determinación de la posición del equipo en el campo
  - Contacte con su distribuidor (o red Internet) para conocer los detalles del funcionamiento
- ✗ Corrección *Diferencial* para mejorar la precisión en el cálculo de la posición
  - Tipos de sistemas:
    - Red de torres (AM y FM)
    - Satélite

# Sistema de Información Geográfica (GIS) y Mapas de Aplicación



## ✗ Paquetes de programas GIS para el análisis de los datos espaciales

- ➔ Programas para uso exclusivo en la oficina
- ➔ Agronomía racionalizada
  - Mapas de nutrientes y rendimiento del cultivo
  - Mapas de requerimiento de nutrientes
  - Recomendaciones de fertilizantes: determinaciones de áreas con bajo, medio y alto requerimiento
- ➔ Ecología del cultivo
  - Mapas de infestación (plagas) e infección (enfermedades del cultivo)

## ✗ Computadoras de elevada potencia

- ➔ Procesador *Pentium-Pro 200, min.*
- ➔ Sistema operativo *Linux, UNIX, o MS Windows*
- ➔ Disco duro *~3 Giga bytes, min.*
- ➔ Memoria RAM *~64 Mega bytes, min.*

# Precisión Agrícola: Ejemplos

## ✘ La Cosecha

- ➔ monitorizar el rendimiento en grano para elaborar mapas de productividad

## ✘ Manejo de Pesticidas

### ➔ Herbicidas

- Dosificación óptima en base a las condiciones diferenciales del suelo
- Aplicación de la combinación específica de productos requerida por cada tipo distinto de maleza

### ➔ Insecticidas, Fungicidas, Nematicidas

- Aplicación de la combinación específica de productos requerida por cada complejo infestación/infección
- Aplicación de productos sólo donde haya infestación o infección

## ✘ La Siembra

- ➔ Adaptar la densidad y profundidad de plantación y las variedades o híbridos teniendo en cuenta los siguientes factores:

- drenaje y humedad del suelo
- potencial de productividad
- temperatura relativa
- potencial de infestividad/infectividad

## ✘ La Labranza

### ➔ Rugosidad del suelo

- Areación del suelo
- Filtración del agua

### ➔ Manejo de los residuos del cultivo para:

- Controlar la temperatura del suelo
- Reducir la erosión del suelo
- Mantener la humedad del suelo

### ➔ Control del consumo de energía por las máquinas de labranza

- adaptar la profundidad de labranza en base de la dureza del suelo

## ✘ La Aplicación de los Fertilizantes a Granel

- ➔ Adaptar las dosis según los requerimientos de cada área del campo, el tiempo meteorológico en cada periodo de crecimiento, y las condiciones del suelo

# Requisitos para la Precisión Agrícola

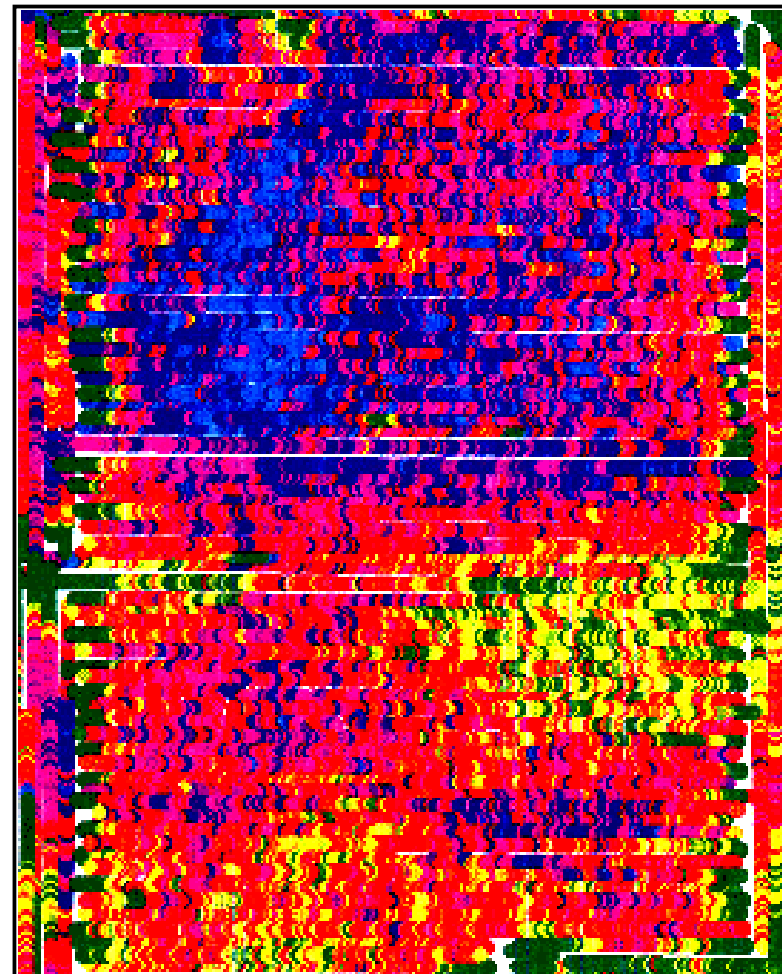
- ✘ El desarrollo de infraestructura adecuada
  - ↳ Red de corrección Diferencial del GPS
  - ↳ Paquete de Sistemas de Información Geográfica
    - Mapa de parcelas (límites, área) require:
      - Cosechadora con sensores para confeccionar los mapas de rendimiento en grano
      - Herramientas para la toma de muestras de suelo y el marcaje de los límites de los campos
      - Personal entrenado en el uso de computadoras de elevada potencia y en los programas
  - ↳ Investigaciones a largo plazo
    - Estudio de la productividad
    - Estudio de la variabilidad del campo
    - Estudio de la viabilidad económica del uso de la Precisión Agrícola
    - Ecología de los cultivos
  - ↳ Entrenimiento del personal para analizar datos espaciales
  
- ✘ *El último paso:* Adquirir la maquinaria equipada con la tecnología para aplicación de dosis variables requerida para este tipo de agricultura

# Etapas para el Estudio de la Variabilidad del Suelo

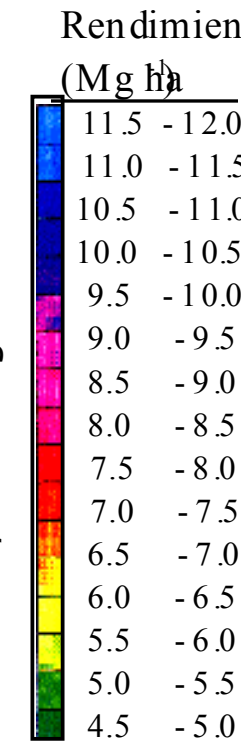
1. Instalación de un monitor del rendimiento en grano en la cosechadora
2. Búsqueda de una transección representativa de la variabilidad del suelo
3. Marcar los puntos de la transección con banderas
4. Tomar muestras del suelo antes de la siembra y del grano en la cosecha
5. Procesar las submuestras y los datos puntuales
6. Ordenar los datos de los parámetros de interés por coordenada espacial con el GIS
7. Recolección y organización de la información en una base de datos
8. Evaluar las correlaciones entre parámetros usando funciones estadísticas y geo-estadísticas

1. Instalación de un monitor del rendimiento en grano en la cosechadora.

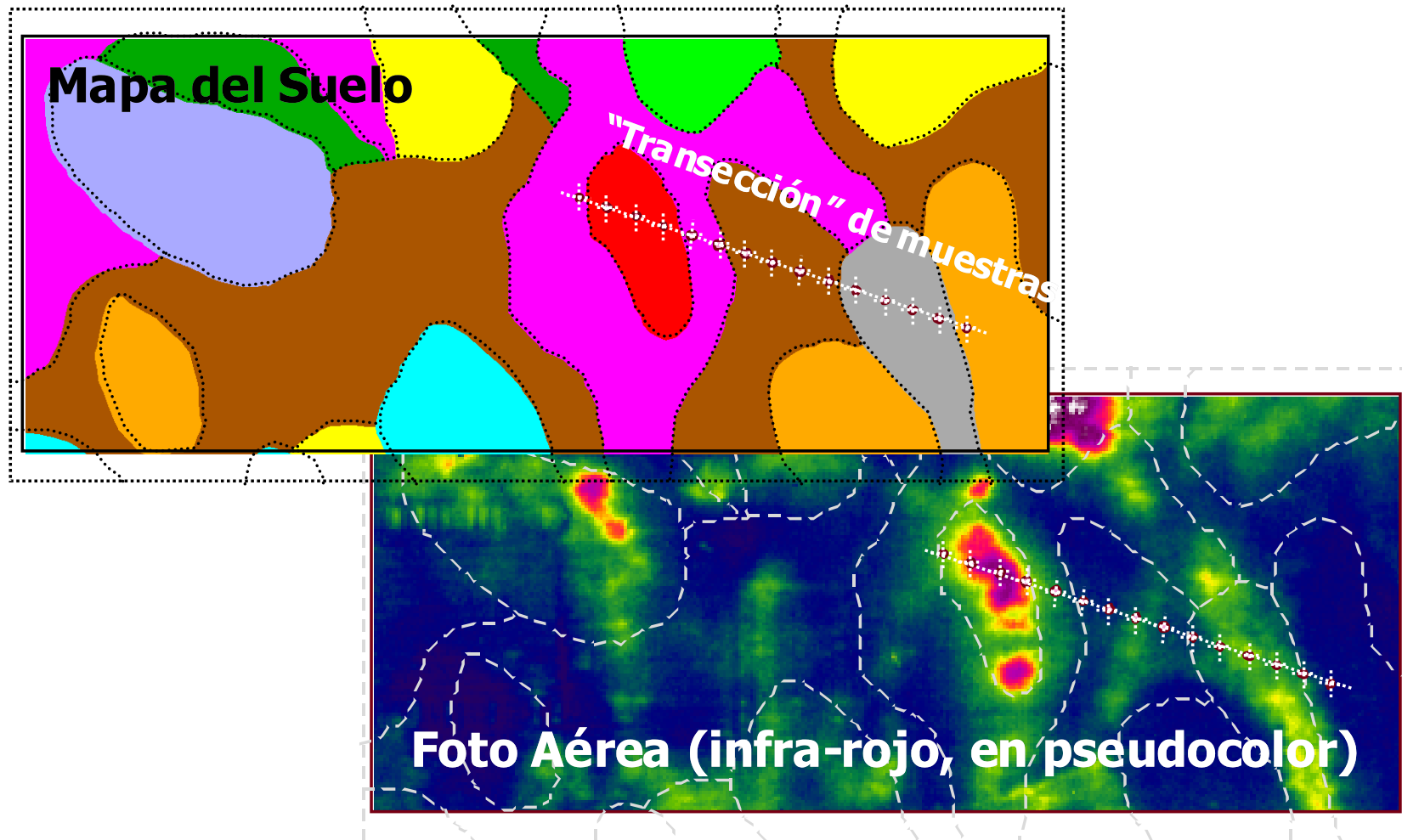
Ejemplo de mapa del rendimiento en grano (maíz).



<http://www.agriculture.com/technology/media/roberts1.gif>



2. Buscar una línea representativa para evaluar la variabilidad usando una foto aérea, mapa topográfico, o mapa del suelo.



### 3. Marcar los puntos de la transección con banderas.

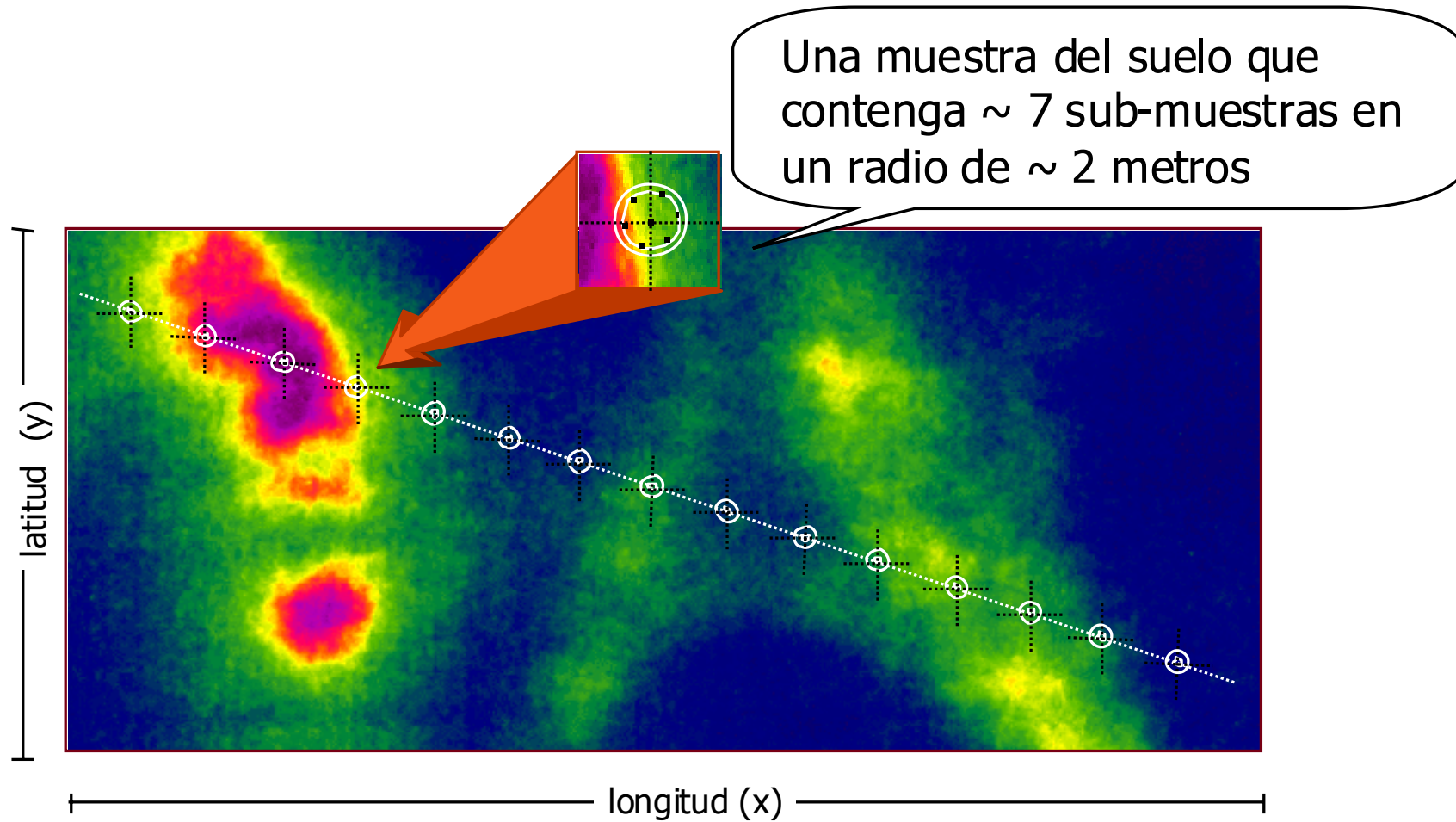
En cada punto tomar varias muestras durante el período de crecimiento.

Evaluar lo siguiente:

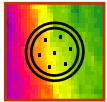
- la profundidad de la capa del suelo,
- la materia orgánica,
- el nitrato (de 0-30 cm),
- la proteína del grano ( $\sim 7$  submuestras por punto),
- el rendimiento en grano ( $\sim 7$  submuestras por punto) , y
- medidas de posición ( $x, y, z$ ).



- Tomar muestras del suelo antes de la siembra y del grano en la cosecha.



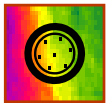
5. Cómo procesar las submuestras y los datos de cada punto de la transección.



Se mezclan las submuestras puntuales del suelo

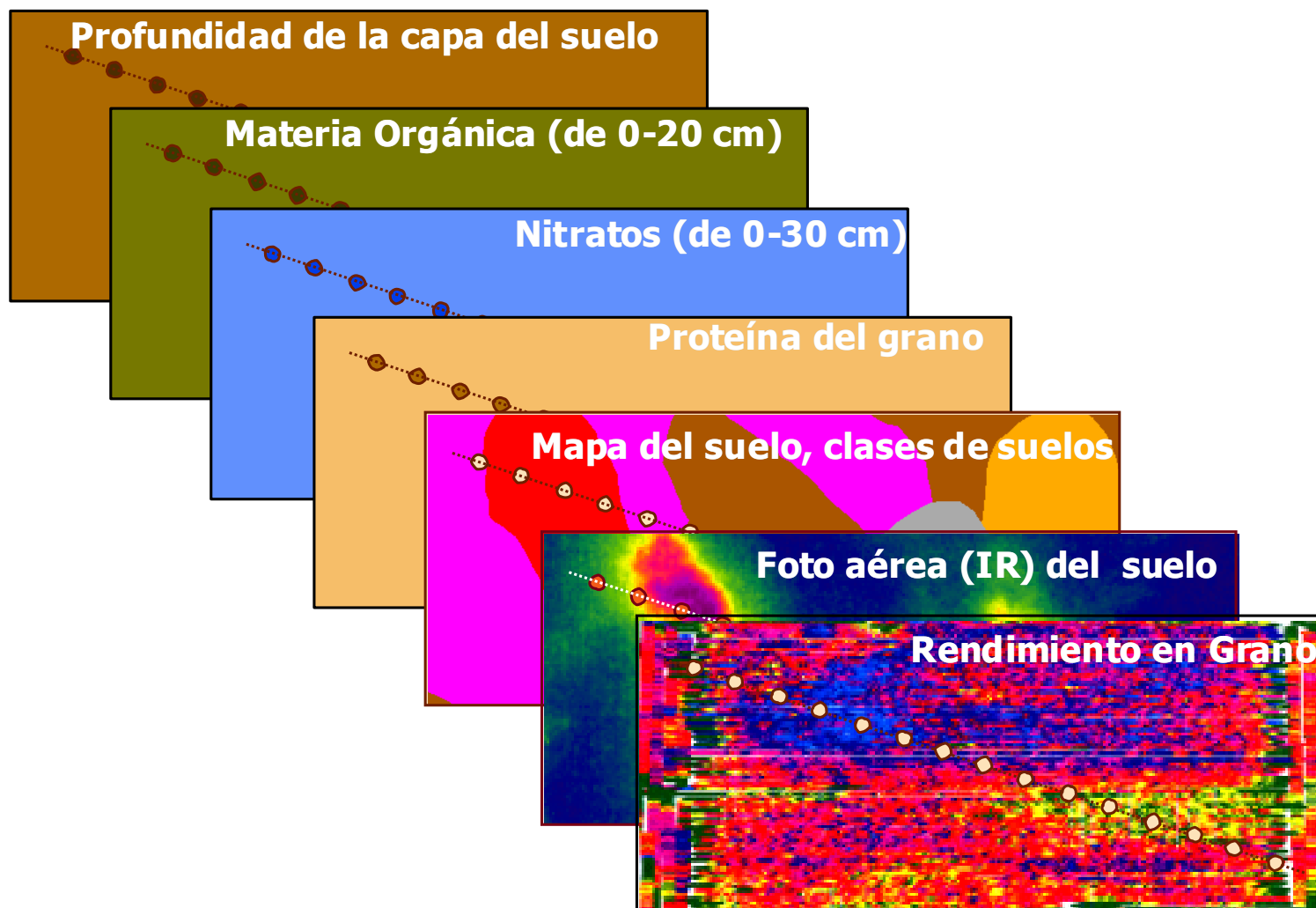


Calcular la media o promedio de los valores de la foto aérea digitalizada



Se mezclan las submuestras del grano para determinar la cantidad de proteína para cada punto

6. Ordenar los datos espaciales y otros parámetros de interés con el Sistema de Información Geográfica (GIS).

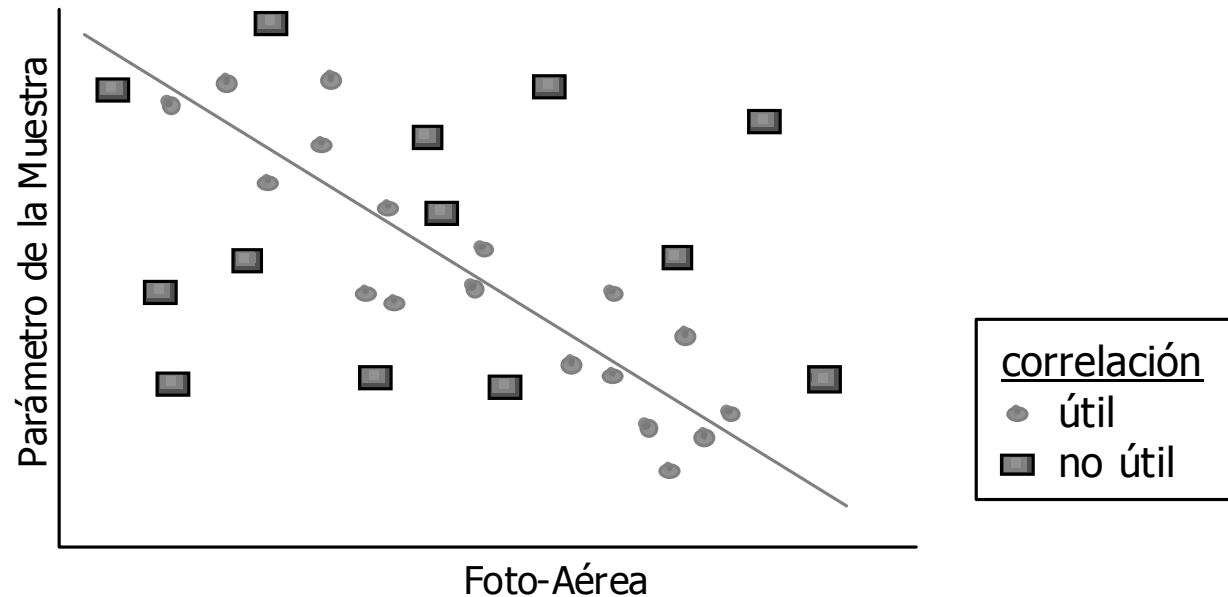


## 7. Recolección y organización de la información en una base de datos.

<u>parámetros</u>	<u>Número de Puntos</u>					
	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5..</u>	<u>n*</u>
i. profundidad de la capa	_____	_____	_____	_____	_____	_____
ii. materia orgánica	_____	_____	_____	_____	_____	_____
iii. nitratos	_____	_____	_____	_____	_____	_____
iv. proteína del grano	_____	_____	_____	_____	_____	_____
v. rendimiento en grano	_____	_____	_____	_____	_____	_____
vi. clases del suelo	_____	_____	_____	_____	_____	_____
vii. valor digital (foto-aérea)	_____	_____	_____	_____	_____	_____
viii. longitud (x, E-O)	_____	_____	_____	_____	_____	_____
ix. latitud (y, N-S)	_____	_____	_____	_____	_____	_____
x. altitud (z, E-O)	_____	_____	_____	_____	_____	_____
xi. otros, como sodio...	_____	_____	_____	_____	_____	_____

\* Para poder usar la estadística en el análisis de correlaciones se deben de tomar muestras de un mínimo de 15 puntos

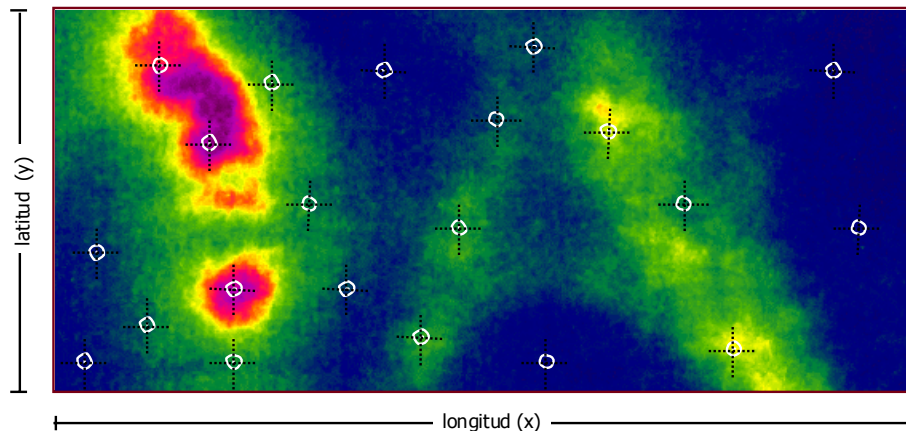
8. Determinar las correlaciones estadísticas entre los parámetros del suelo (o rendimiento en grano) y los valores digitales de la foto-aérea.



Cuando se encuentra una correlación lógica y útil ( $r > |0.3|$ ) entre los valores digitales de la foto aérea y los datos del análisis del suelo, podemos recoger menor número de muestras. Cuando haya variaciones que no coincidan con variaciones naturales del suelo (como variaciones inducidas por la historia del terreno), necesitaremos emplear funciones geo-estadísticas de interpolación para la elaboración de los mapas. Este tipo de interpolaciones requieren un elevado número de muestras (tres muestras por hectárea, aproximadamente).

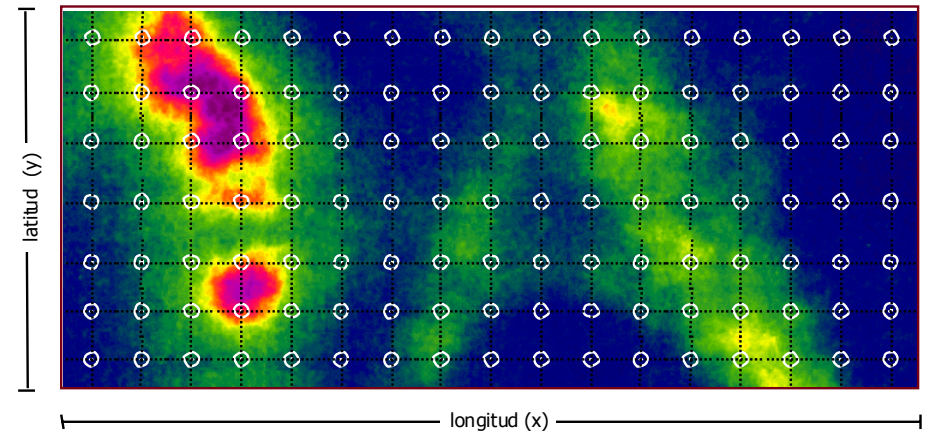
# Mapas de Variabilidad

1. Cuando haya una buena correlación, organizar la distribución de las muestras de forma que incluya el rango de variaciones del suelo en base a la foto aérea (aeronave o satélite).



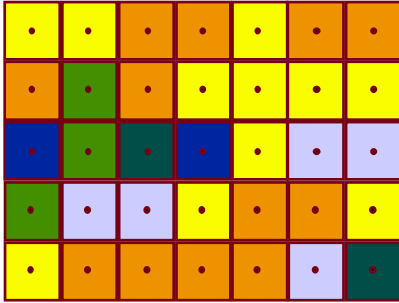
*Patrón de Muestreo en Base a la Foto.* El método requiere un menor número de muestras si se encuentra correlación ( $r > |0.3|$ ) entre la foto-aérea del suelo y los datos de parámetros del suelo (ver Paso 8). Usando este análisis de regresión podemos calcular el mapa de parámetros estimado en base a la foto.

2. Cuando no se encuentre una buena correlación tendremos que muestrear en forma de retícula, para cumplir los requisitos de la geo-estadística. Este método requiere más de tres muestras por hectárea, normalmente.



*Patrón Reticulado para la Toma de Muestras.* El método requiere un elevado número de muestras para reflejar las variaciones espaciales de los parámetros del suelo. Necesitaremos emplear funciones geo-estadísticas de interpolación para la elaboración de los mapas de parámetros del suelo.

### 3. Tres tipos de mapas prescritos confeccionados con el GIS.



#### **Cuadrícula**

Método de Muestreo:

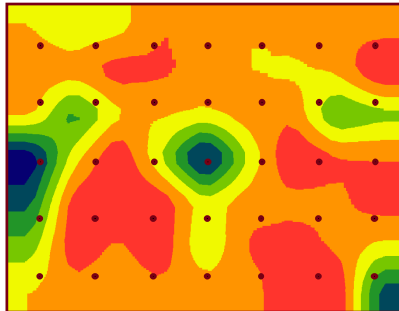
Interpolación:

Precisión Relativa:

*Retícula*

*Muestras compuestas*

*Baja*



#### **Polígono**

Método de Muestreo:

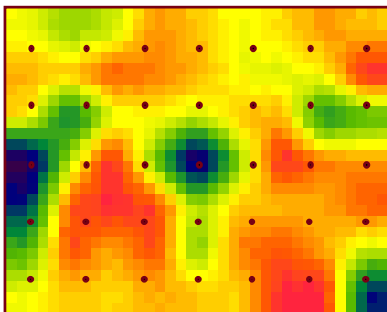
Interpolación:

Precisión Relativa:

*Retícula o por Suelo (foto)*

*Distancia Inversa, Krige ...*

*Media*



#### **Contínuo**

Método de Muestreo:

Interpolación:

Precisión Relativa:

*Retícula o por Suelo (foto)*

*Distancia Inversa, Krige...*

*Alta*

4. Etapas del mapeo: desde la toma de muestras hasta la aplicación de dosis variables.

**Etapas relacionadas con el Sistema de Información Geográfica**

1. Estudio de la variabilidad y toma de muestras.
2. Análisis de la respuesta del cultivo mediante el uso de funciones estadísticas avanzadas.
3. Elaboración de mapas de prescripción.
4. Cálculo de la cantidad y dosis de producto necesario.
5. Exportación de mapas de prescripción del GIS para su uso en la máquina de aplicación.

**Etapas relacionadas con la Maquinaria de Aplicación Variable**

1. Montar el Sistema de Posición Global, con corrección Diferencial
2. Instalación de la computadora de control que pasa información de los mapas de prescripción al controlador de prescripción variable.
3. Instalación del radar para medida la velocidad de aplicación.
4. Importación de los mapas de prescripción a la computadora.
5. Trasladar la maquinaria y los productos a granel al sitio de aplicación.
6. Aplicar los productos a dosis variables según los mapas de prescripción.

# ¿ Cuándo adoptar el sistema de aplicación variable de fertilizantes ?

Cuando se encuentre suficiente variabilidad:

- a. Usar los datos estadísticos de la muestra para estimar las condiciones de todo el campo.
- b. Evaluar los pasos 1 a 8 mediante toma de muestras adicionales al azar.
- c. Construir mapas de variabilidad para todo el campo  
(*ver Pasos 1 y 2 de "Mapas de Variabilidad"*).
- d. Adquirir una máquina de aplicación variable.
- e. Aplicar los fertilizantes a dosis variables.

Cuando no se encuentre suficiente variabilidad:

- a. Seguir con la aplicación uniforme de fertilizantes a granel.