

Crerios para el Manejo Eficaz de P y K en una Agricultura Moderna



**Antonio P. Mallarino
Iowa State University**

Desafíos para el Manejo de Fertilidad

- **Uso eficiente de recursos no renovables**
- **Inestables relaciones de precios**
- **Sustentabilidad de sistemas agrícolas**
 - » **USA: maíz-maíz debido a producción de bioenergía y múltiple resistencia**
 - » **SA: soja-soja, debido a poca inversión**
- **Adecuar el manejo de nutrientes a tecnologías de agricultura de precisión**
- **Mayor sensibilidad del público urbano en cuanto a contaminación de aguas**

Conceptos Claves Comunes para P y K

- **Calibración de métodos de análisis de suelo, conocer niveles de análisis y dosis de fertilización para una producción económica y sostenible**
- **Considerar la remoción con las cosechas para mantener niveles de suelo deseados**
- **Usar métodos de aplicación eficaces**
- **Reconocer la variación de P-K disponible, rendimiento y remoción dentro de lotes**

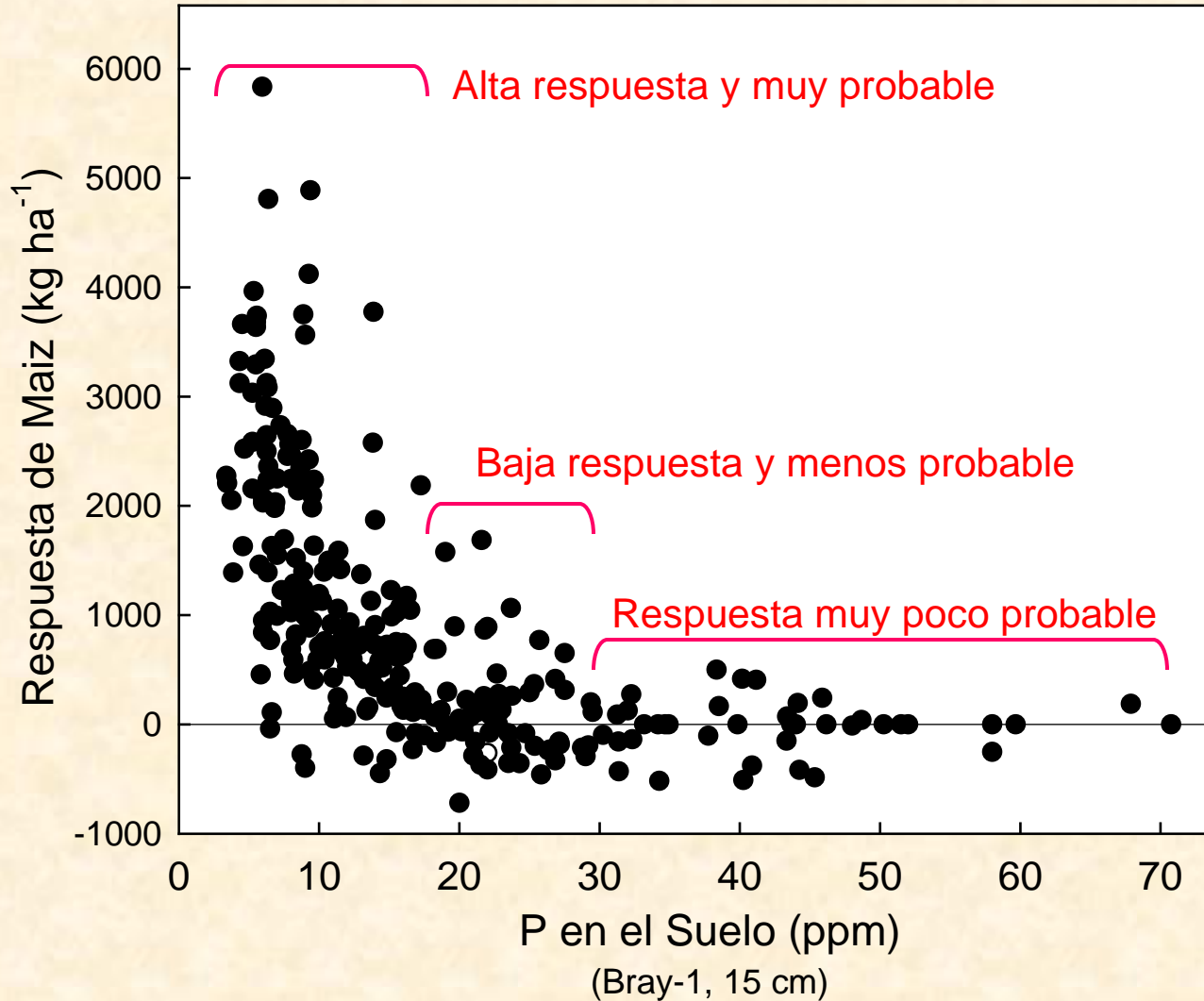
Pero Hay Varios "Problemitas"

- **No hay una única práctica o combinación de prácticas más correcta debido a variación de suelo, rotación, climáticas o relaciones de precios pero también:**
 - » **Incertidumbre en el diagnóstico y estimaciones de dosis óptimas**
 - » **Tenencia de tierra**
 - » **Actitud respecto a riesgo económico**
 - » **Actitud respecto al ambiente y futura sustentabilidad de la producción**

Eficiencia y Eficacia No Son Sinónimos

- **Dosis muy bajas de fertilización son muy eficientes pero no son efectivas**
- **Formas de aplicación o fuentes que maximizan el uso de nutriente pueden no ser prácticas o económicamente efectivas**
- **Alta eficiencia de uso y beneficio económico a corto plazo pueden limitar la productividad futura del suelo o sistema**
- **Prácticas económicamente eficaces pueden no ser buenas para el ambiente**

Respuesta y Estimación de Nivel de Nutriente Disponible



Nivel o rango crítico?

Qué es el Nivel o Rango Crítico?

- El valor o rango crítico distingue suelos con respuesta de suelos sin respuesta
- Teóricamente es un concepto muy claro, pero en realidad es complicado
- Cómo se define "respuesta"?
 - » Agronómica o "a ojo"?
 - » Estadística y qué nivel de probabilidad?
 - » Qué ecuación o modelo?
 - » Qué probabilidad de respuesta?

Cuál es el Nivel o Rango Crítico?

Modelo	% del máximo	Nivel Crítico Bray	
		Maíz	Soja
Cate-Nelson	100	12	10
Linear-Plateau	100	14	13
Cuad-Plateau	99	17	17
	95	14	13
Exponencial	99	22	24
	95	15	15

Evaluación Económica de Distintos Niveles Críticos

Modelo	% del máximo	Método de Análisis		
		Bray-1	Mehlich-3	Olsen
		----- \$ ha -----		
Cate-Nel.	100	421	395	395
Linear Plat .	100	320	294	349
Cuad. Plat.	100	165	275	210
	99	300	275	258
	95	310	318	395
	90	26	200	200
Exponencial	99	0	106	210
	95	310	318	395
	90	26	200	200

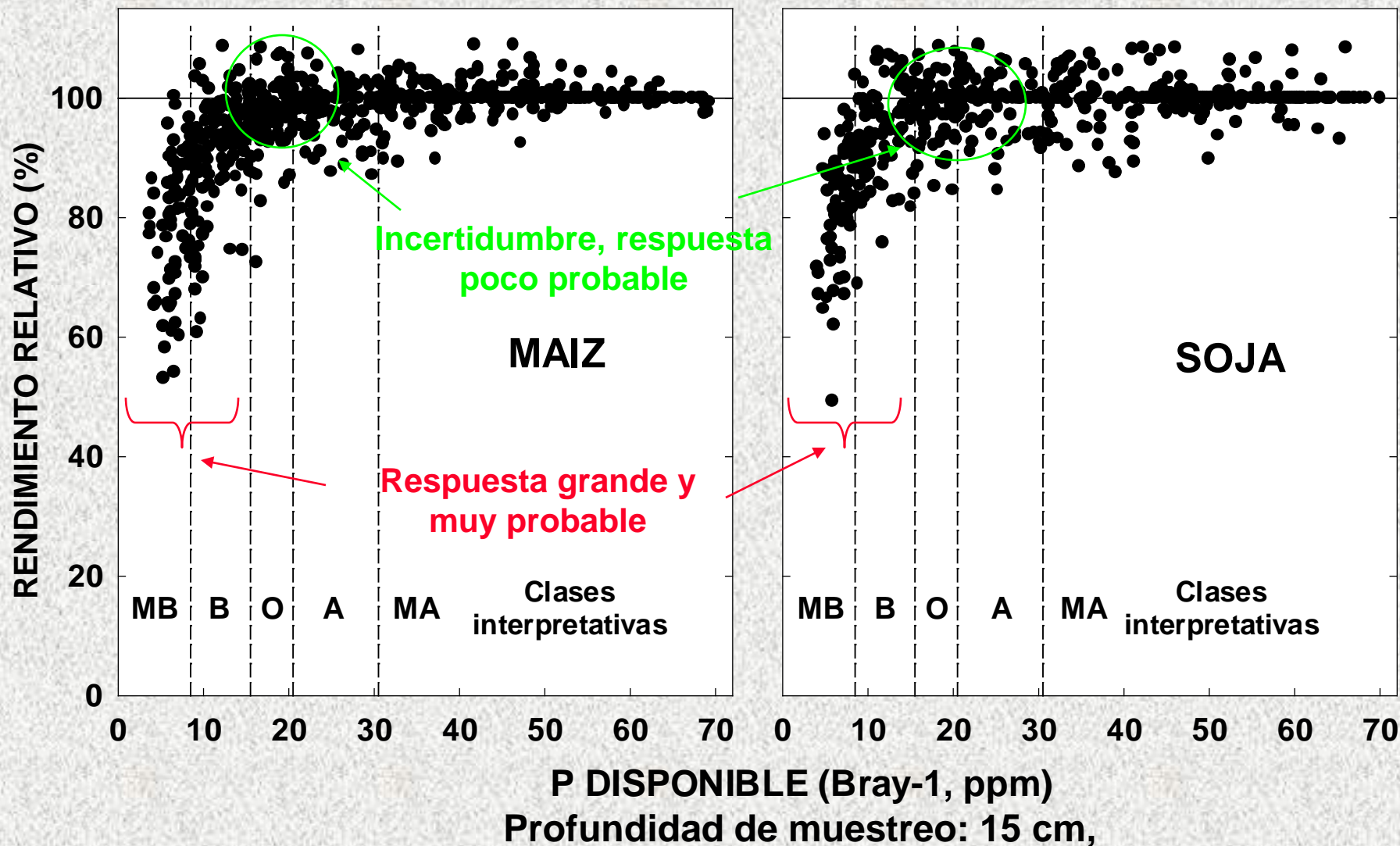
Impacto de Error en el Nivel Crítico

- El impacto económico de error en la determinación del nivel o rango crítico no es constante!!
- La pérdida de beneficio económico de la fertilización aumenta con
 - » Relaciones de precio desfavorables
 - » Con altos rendimientos
 - » En zonas con predominio de niveles bajos de disponibilidad
- En estas condiciones es preferible errar por muy alto que por muy bajo

Calibraciones para Fósforo

- **Diferencias entre cultivos:**
 - » Alfalfa/Trébol > Trigo > Maíz = Soja
- **Métodos de análisis y suelos**
 - » Bray-1 subestima P en suelos calcáreos
 - » Olsen es dudoso en suelos pH < 5-5.2
 - » Mehlich-3 es bueno en todos los suelos, pero dudoso con > 20% de CaCO₃
 - » Resinas (*in-situ* o lab), papel impregnado con FeO o Morgan no son mejores que los otros
- **Cuidado con determinación con ICP, no mide sólo PO₄ y necesita otra calibración**

Correlaciones de Campo para Fósforo

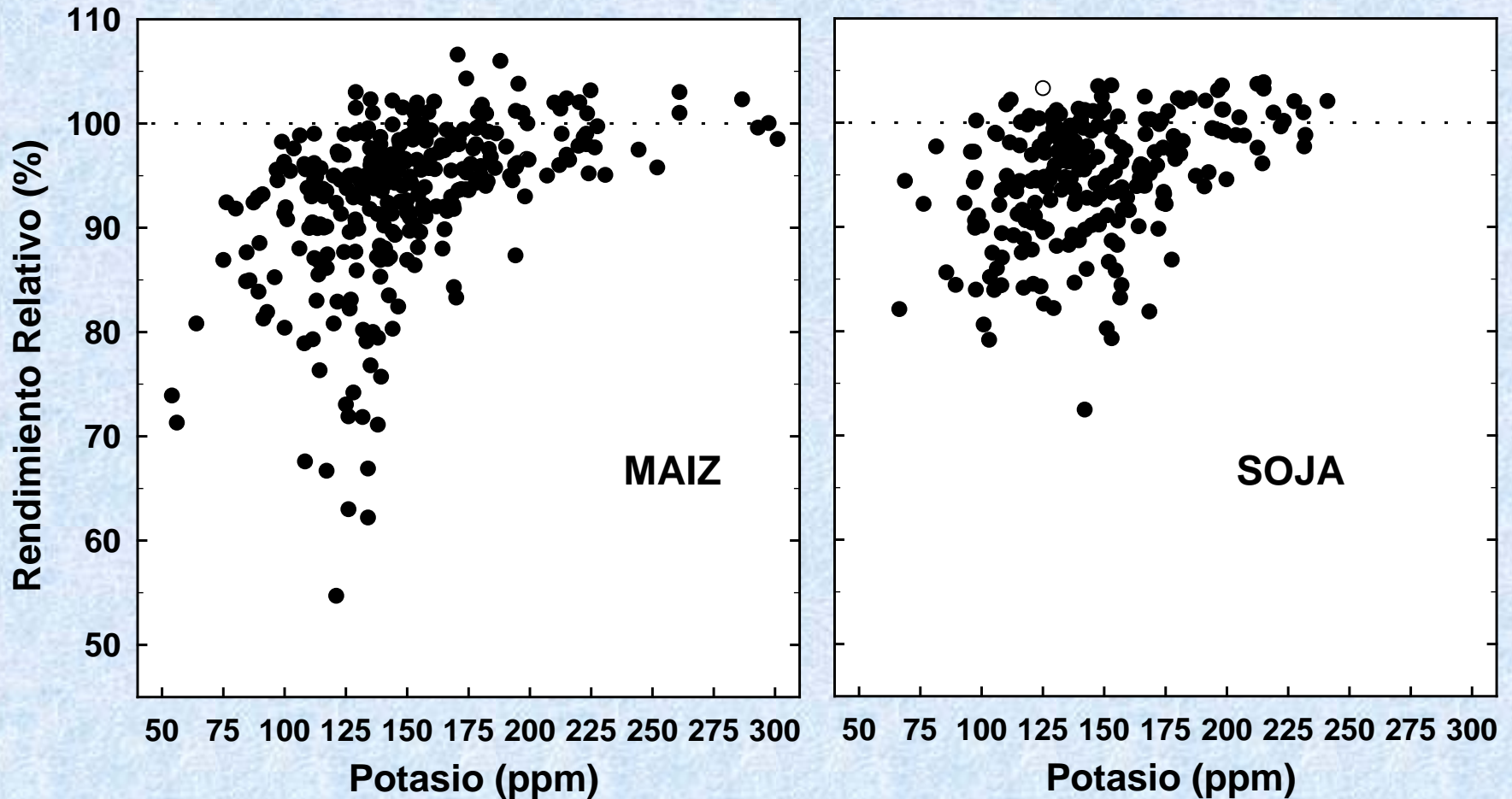


Calibraciones para Potasio

- No hay claras o grandes diferencias entre Alfalfa/Trébol, Trigo, Maíz o Soja. Grandes diferencias están en la remoción de K y las necesidades para mantenimiento
- Métodos de análisis y suelos
 - » Sin diferencias entre Acetato de Amonio y Mehlich 3 ni en métodos de determinación
 - » Casos extremos de CIC o mineralogía pueden requerir diferente calibración
- Gran problema con variación temporal
- Gran problema con secado de muestras

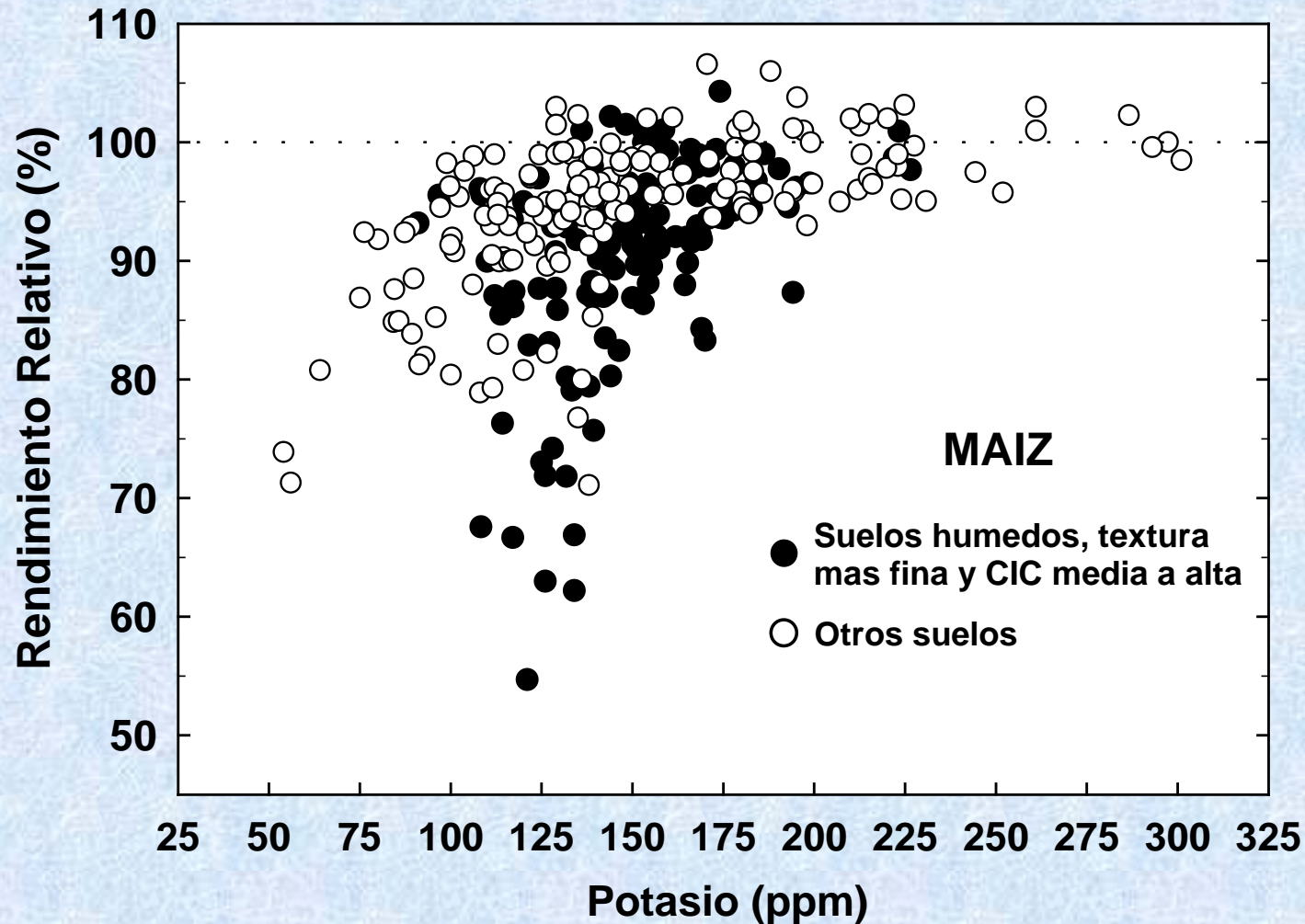
Potasio es Complicado

La incertidumbre es mucho mayor!

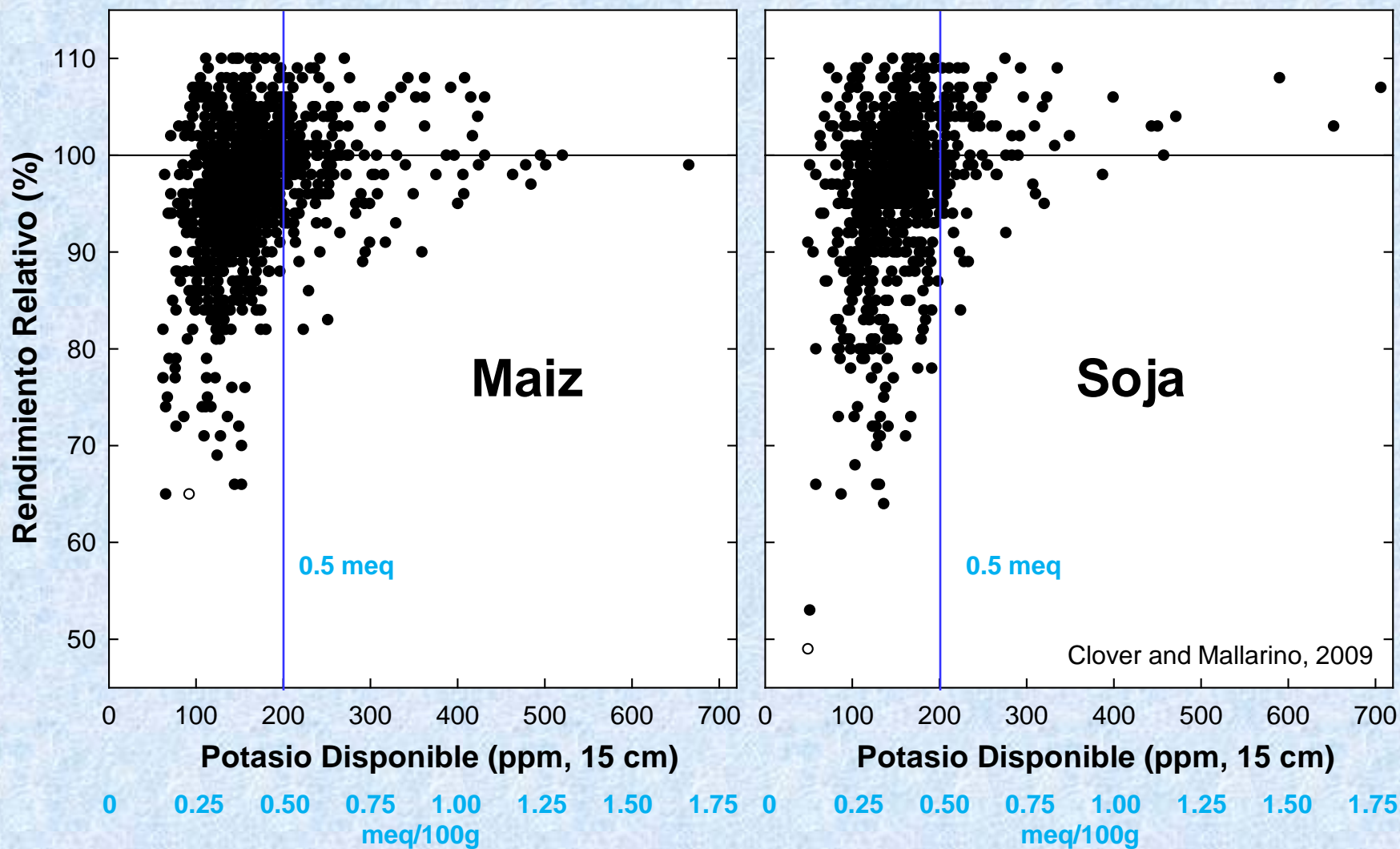


Calibraciones para Potasio

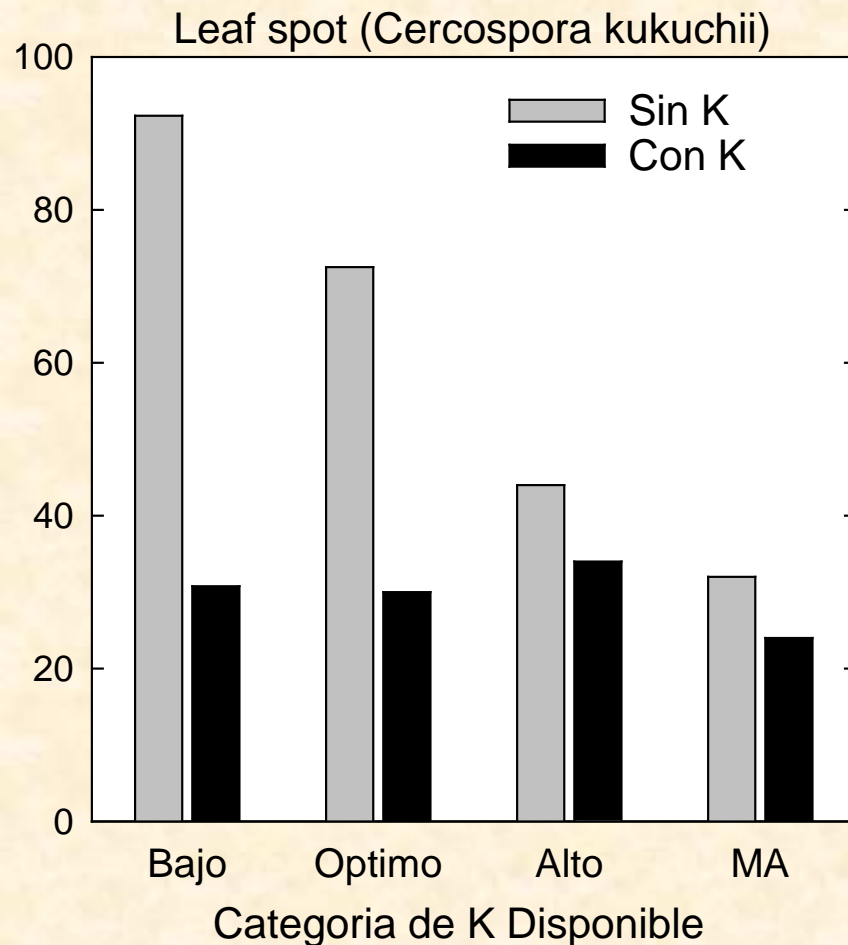
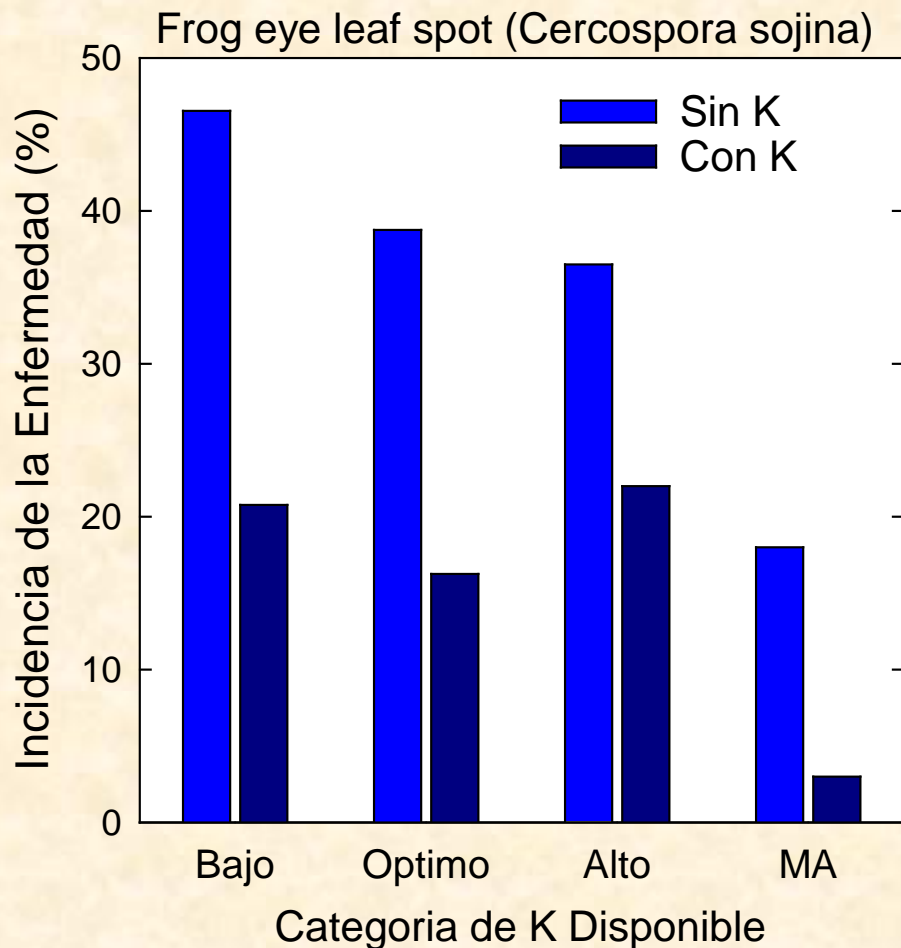
Las razones para la variación no son claras



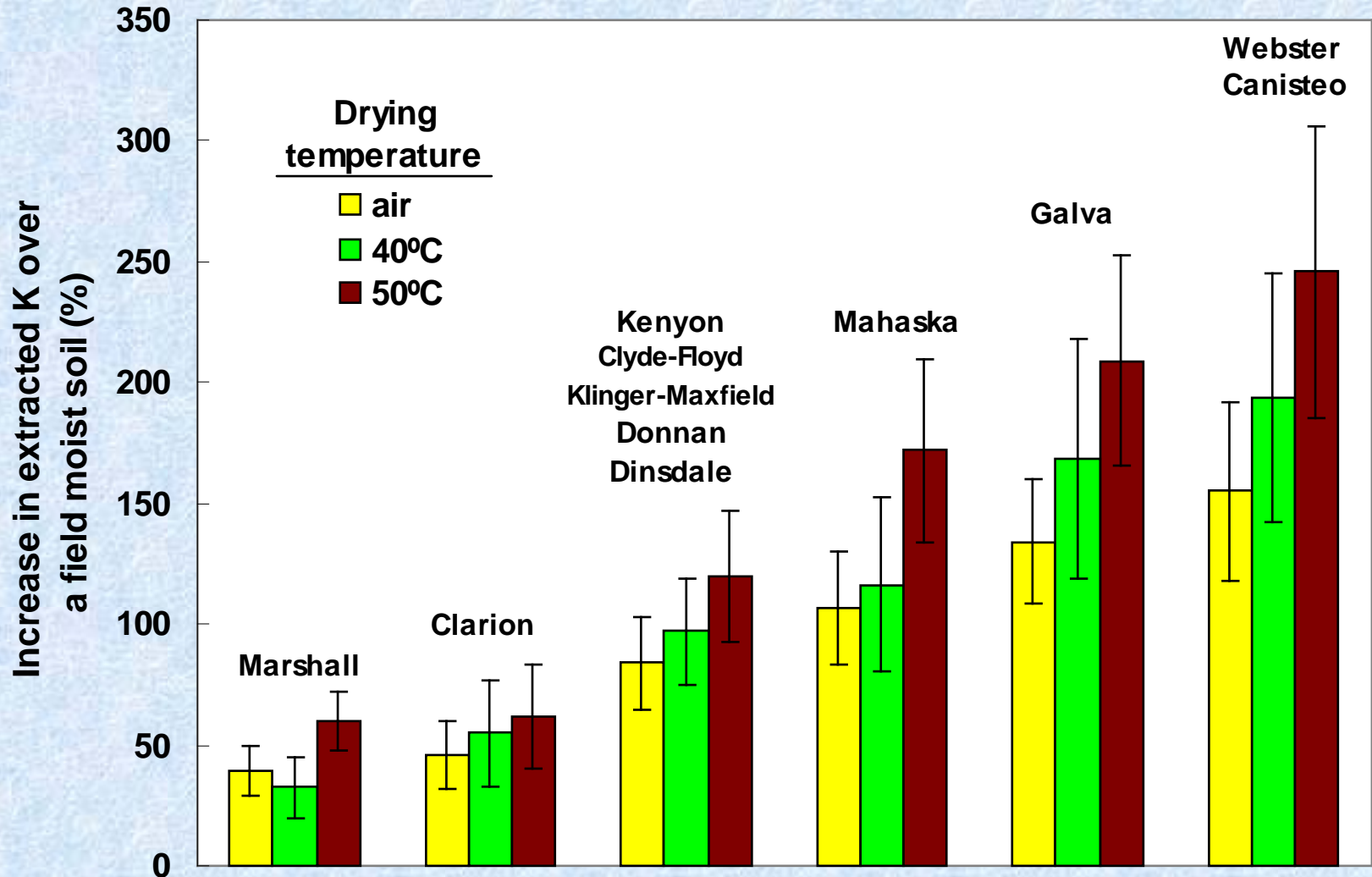
Nuevas Calibraciones, 2006-2008



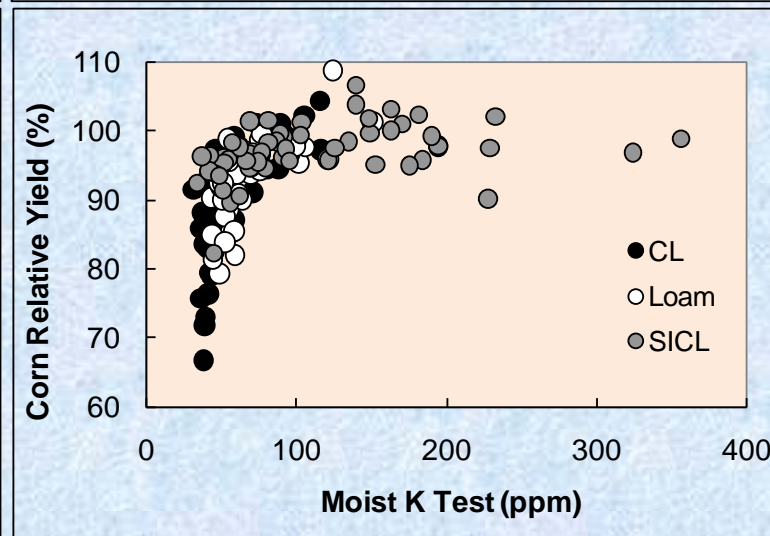
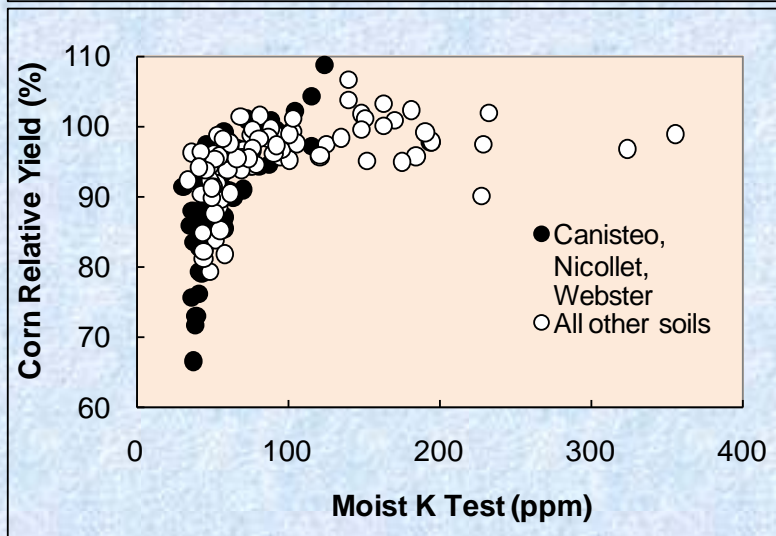
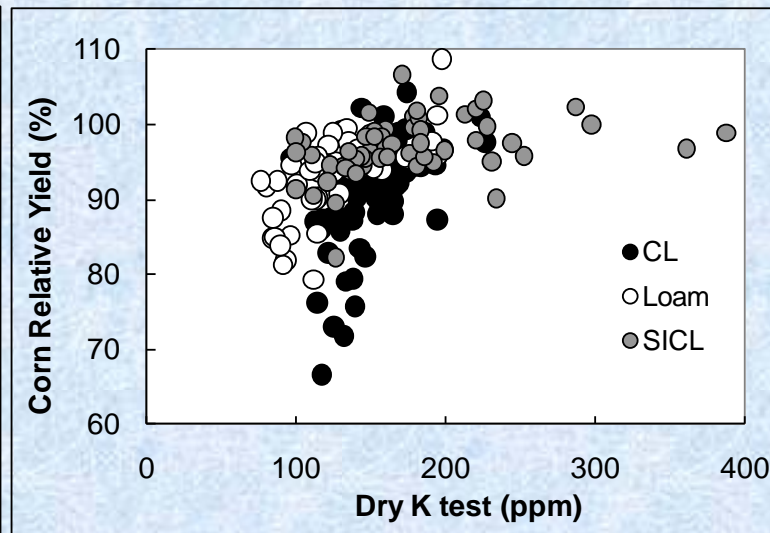
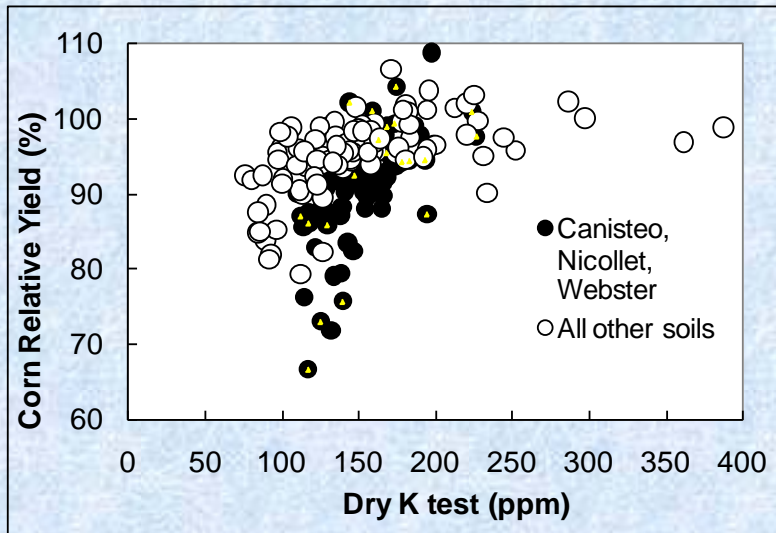
Enfermedades de Soja y Potasio



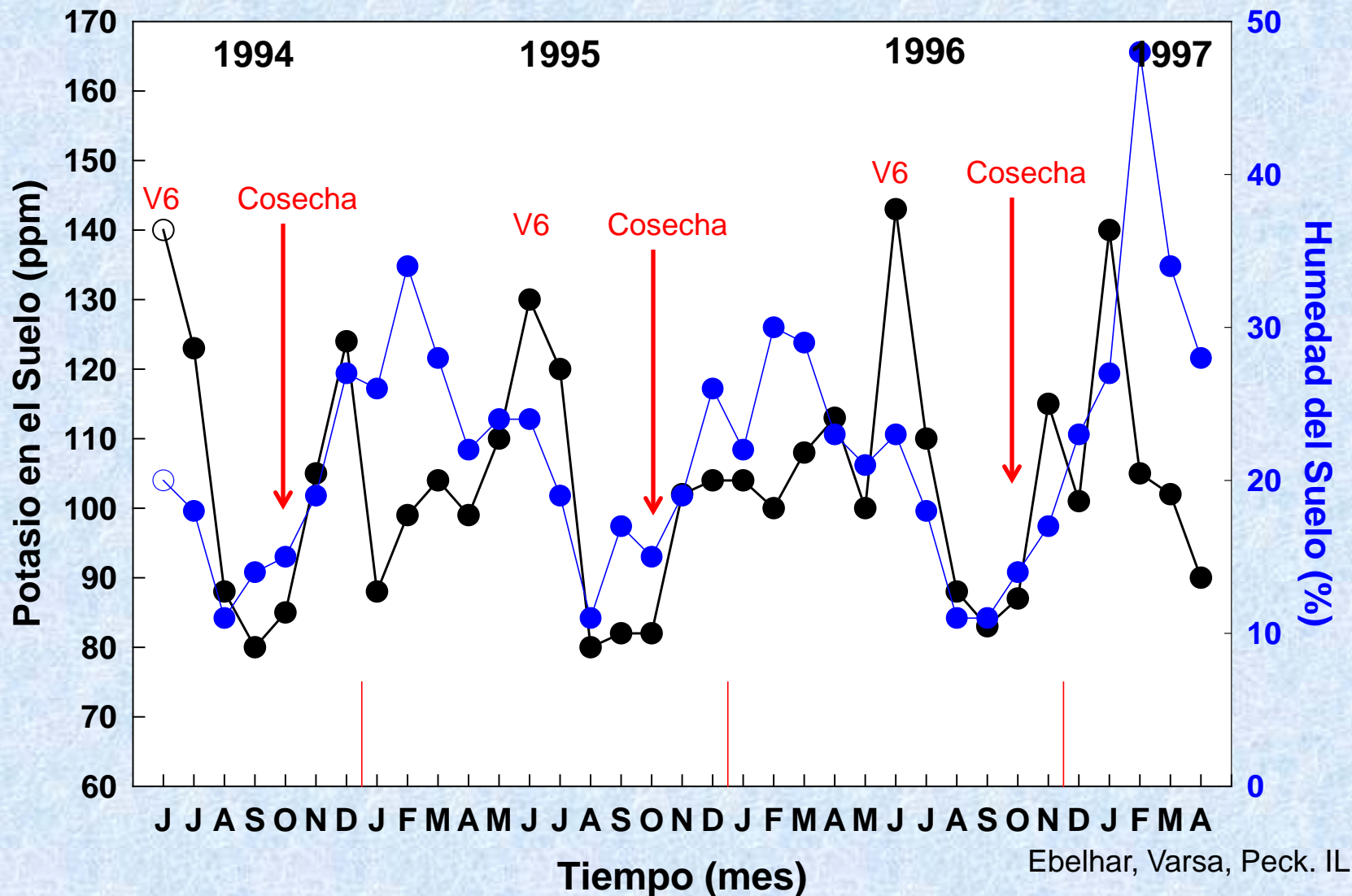
Secado de la Muestra y K Medido



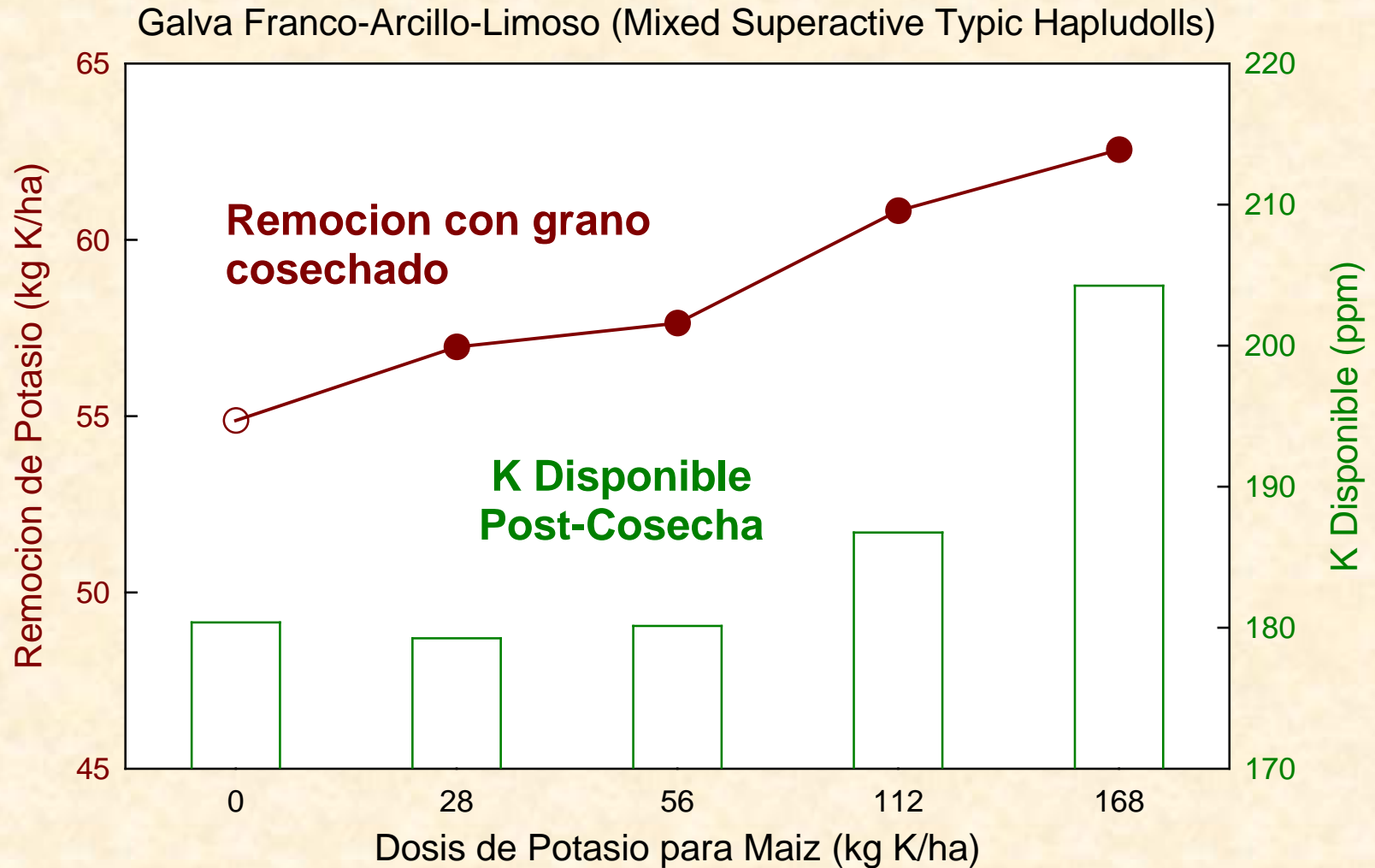
Análisis de Muestras Húmedas



Variación Estacional de K

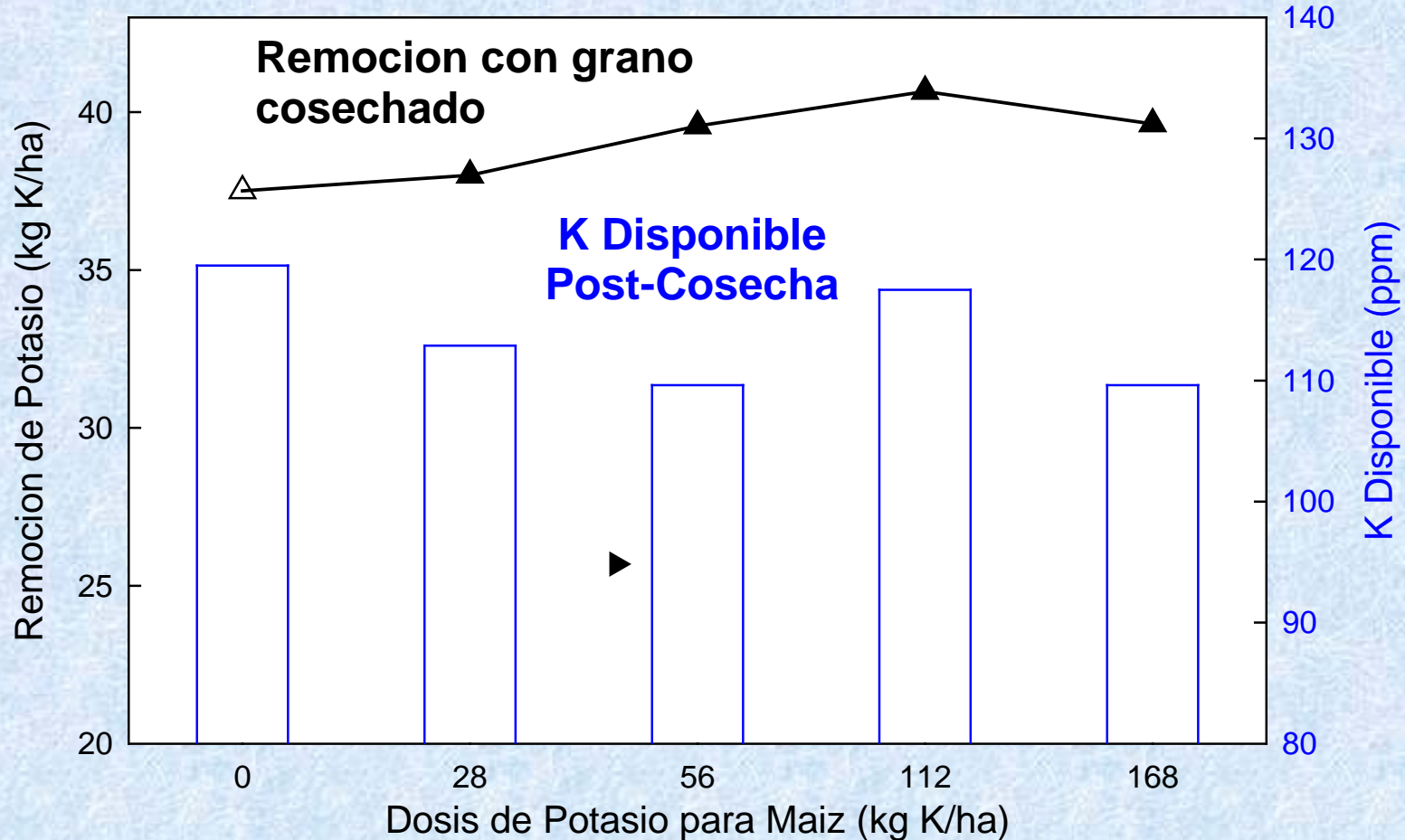


Potasio: Dosis, Remoción, y Cambio de K Disponible

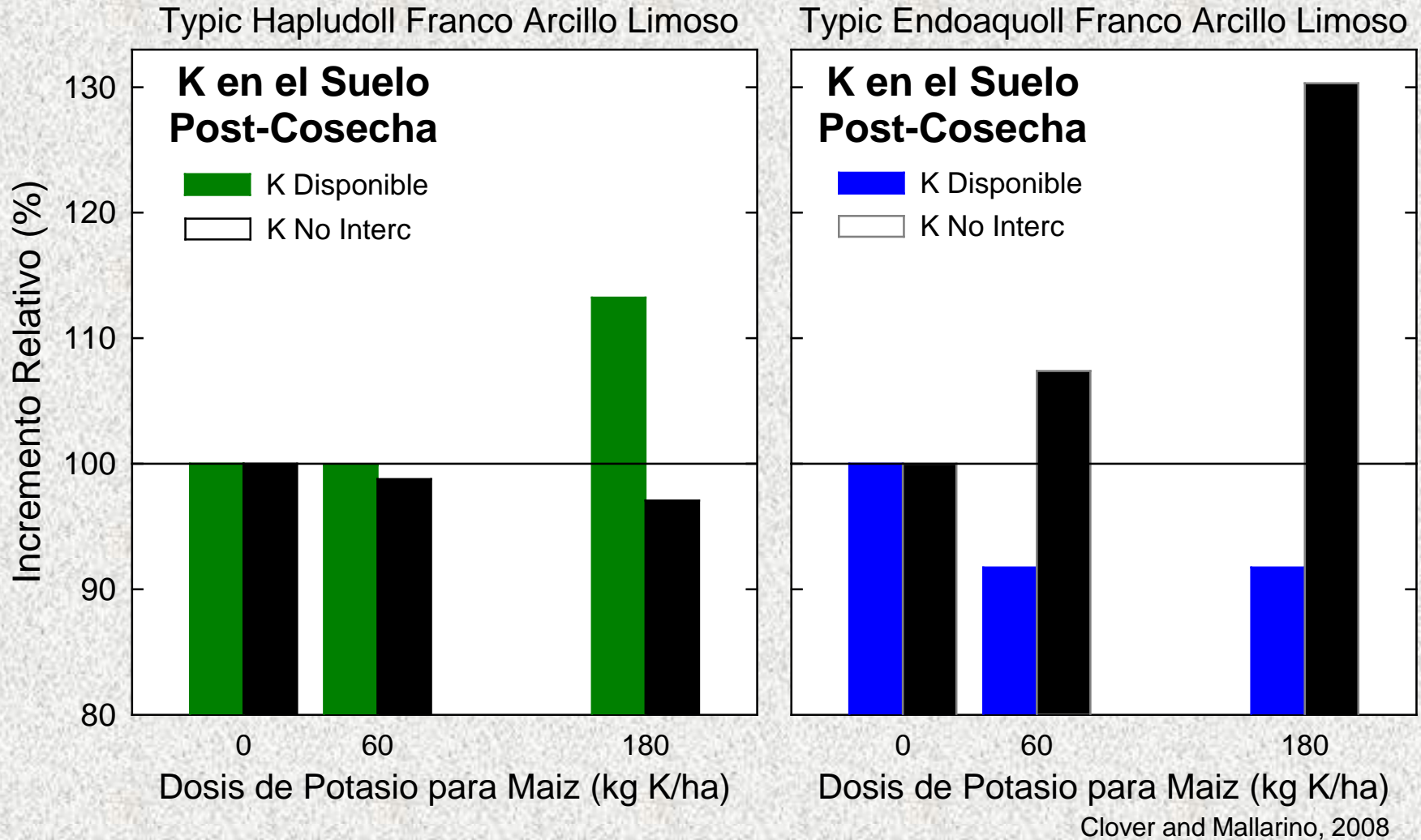


Potasio: Dosis, Remoción, y Cambio de K Disponible

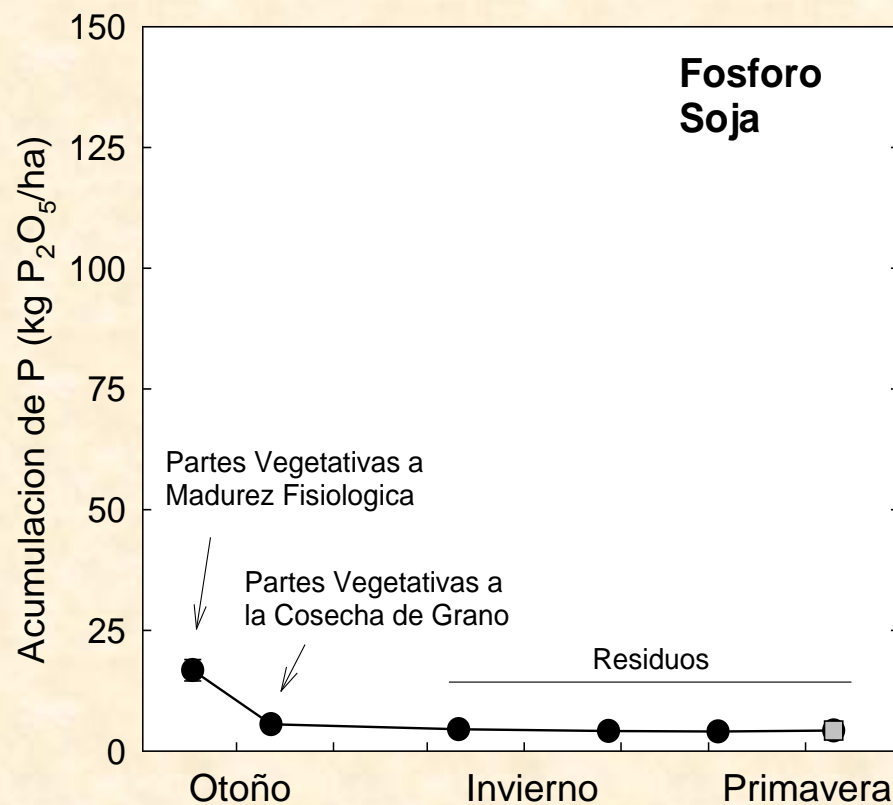
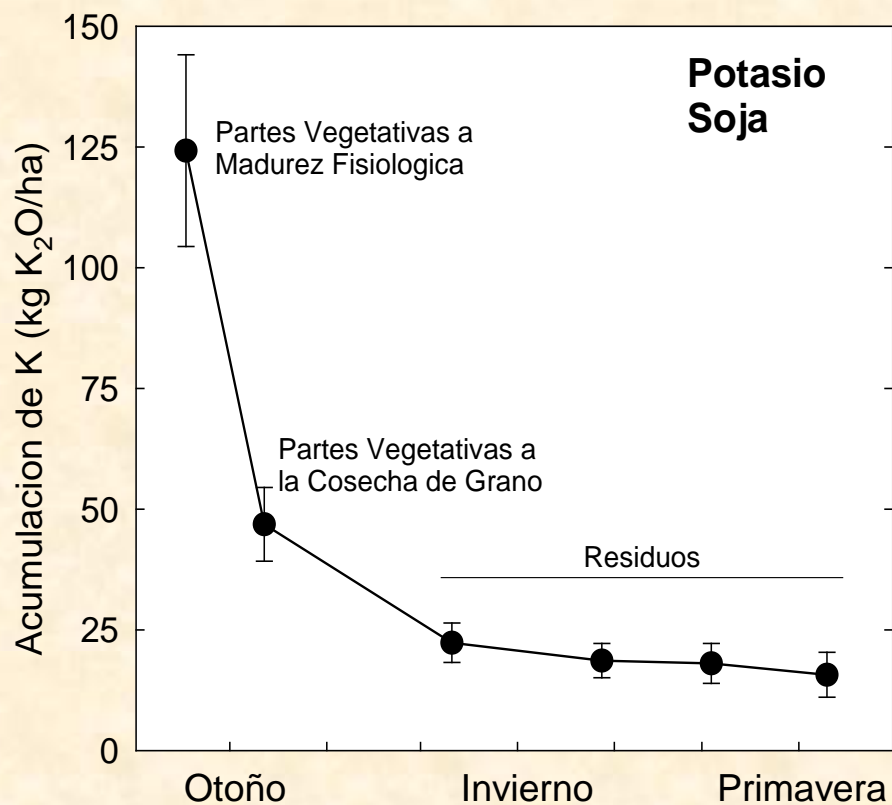
Webster Franco-Arcillo-Limoso (Mixed Superactive Typic Endoaquolls)



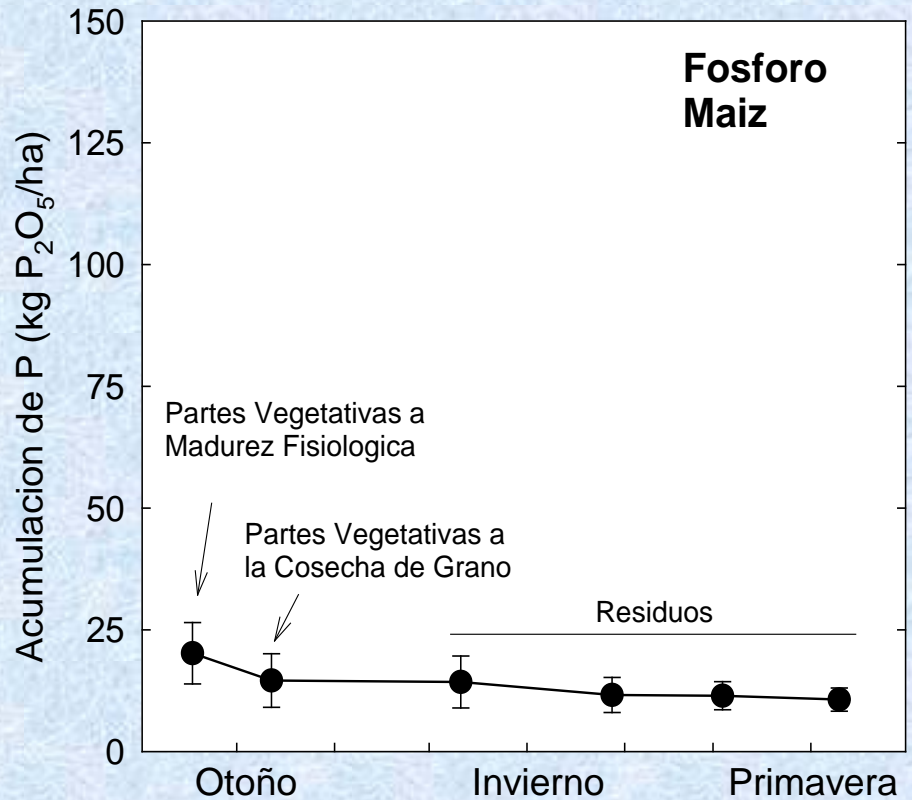
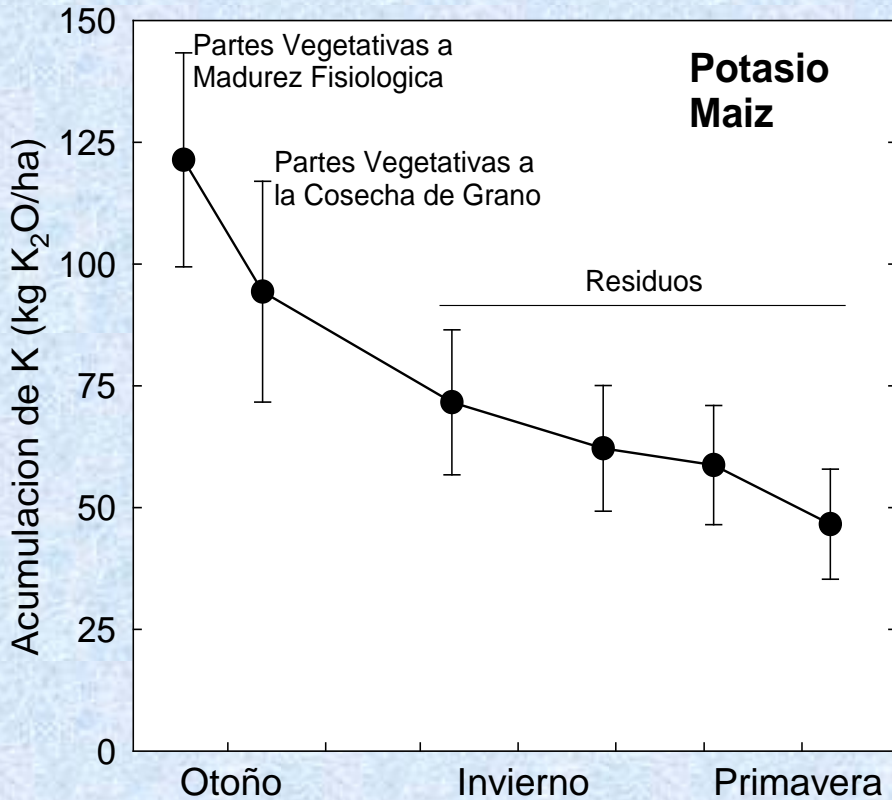
K Disponible y K No Intercambiable



Reciclaje de N y K en Soja



Reciclaje de P y K en Maíz



Oltmans and Mallarino, 2011
9 sitios

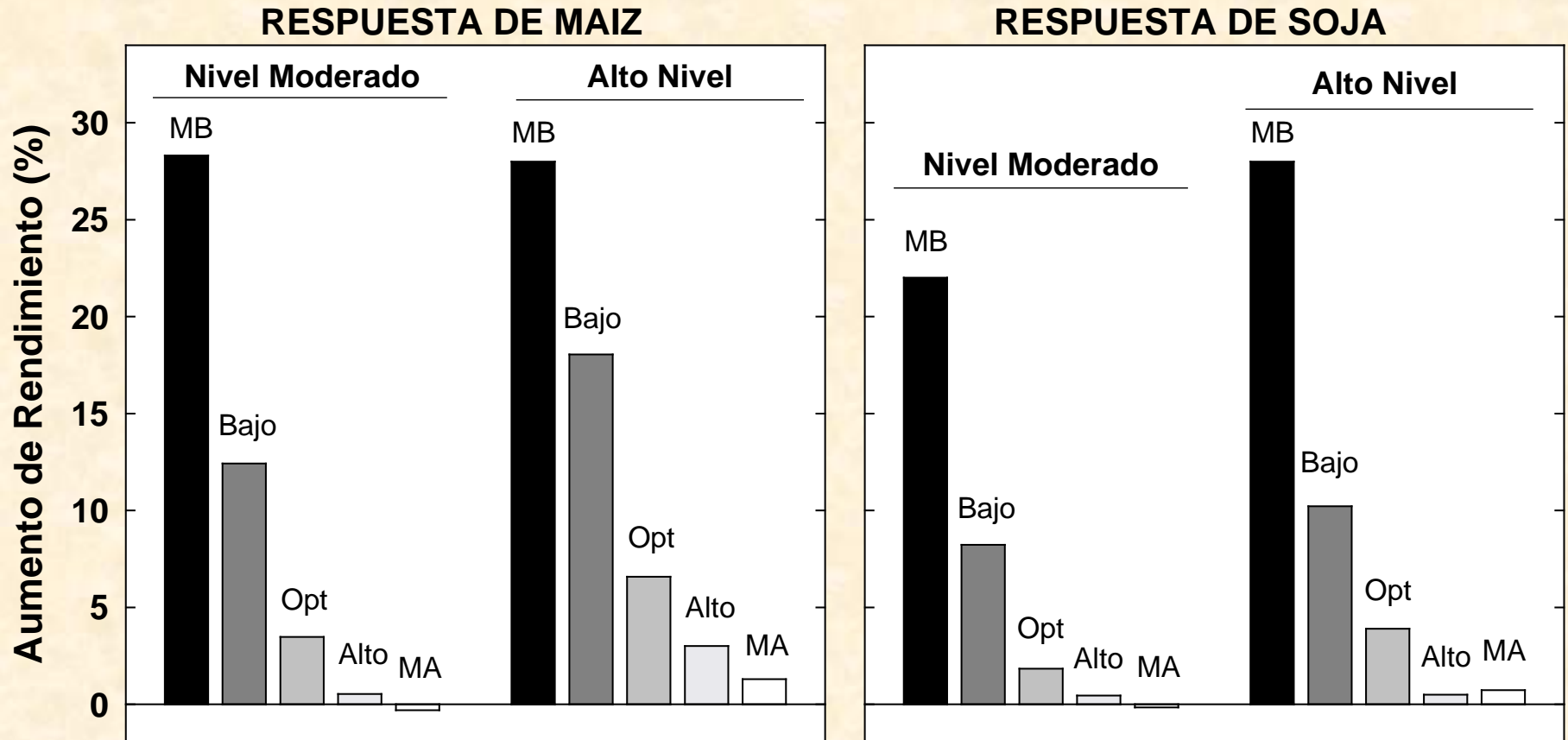
Clases Interpretativas de IOWA

Clase	Fósforo		Potasio	
	Bray-1 o M3 Colorimétrico	M3 ICP	Acetato NH ₄ o M3	
	ppm	ppm	ppm	meq/100g
Muy Bajo	0-8	0-15	0-90	< 0.23
Bajo	9-15	16-25	91-130	0.23-0.33
Optimo	16-20	26-35	131-170	0.33-0.43
Alto	21-30	36-45	171-200	0.43-0.50
Muy Alto	> 30	> 45	> 200	> 0.50

Muestreo a 15 cm de profundidad

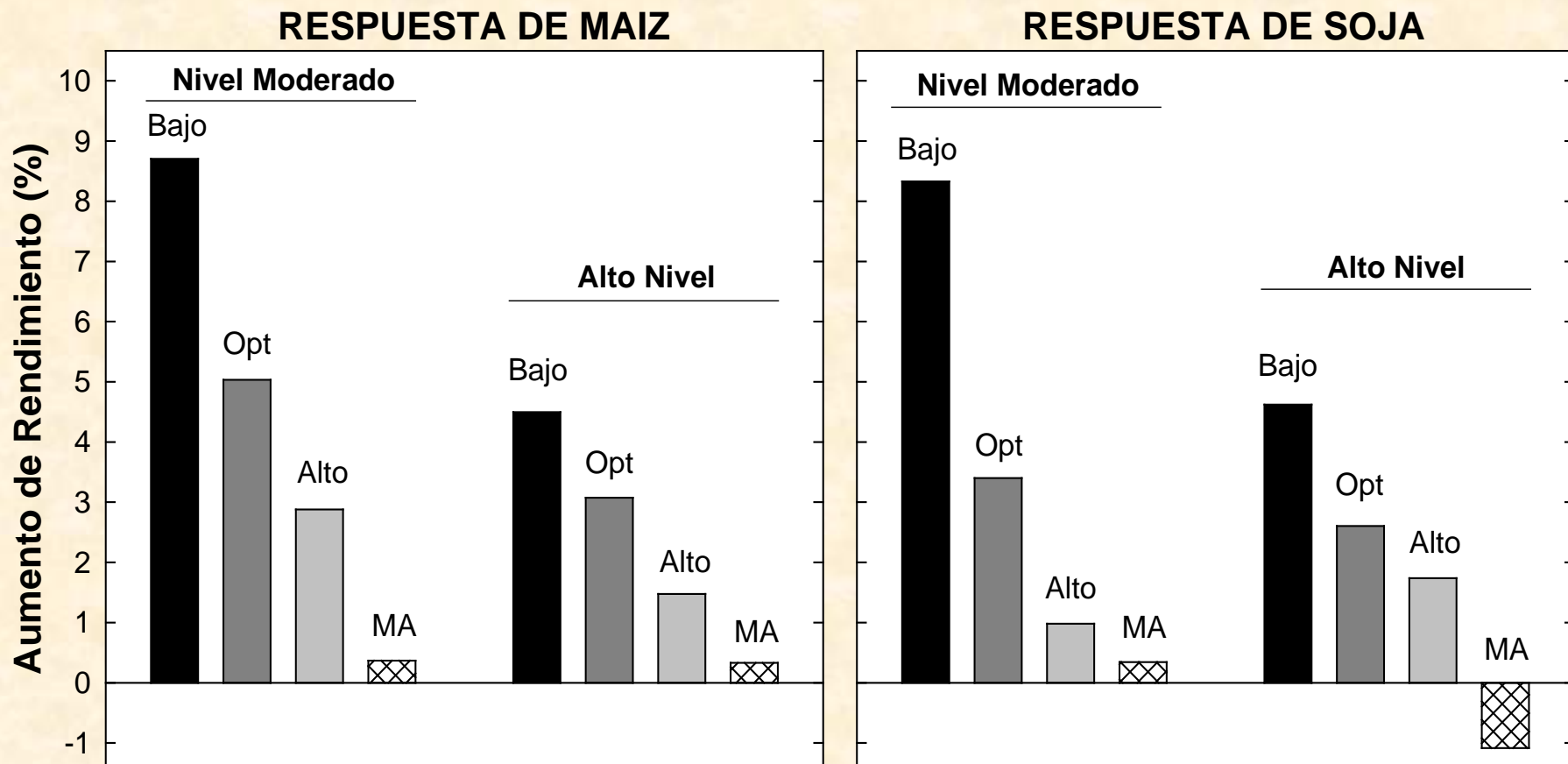
Nivel de Rendimiento e Interpretaciones

Fósforo



Nivel de Rendimiento e Interpretaciones

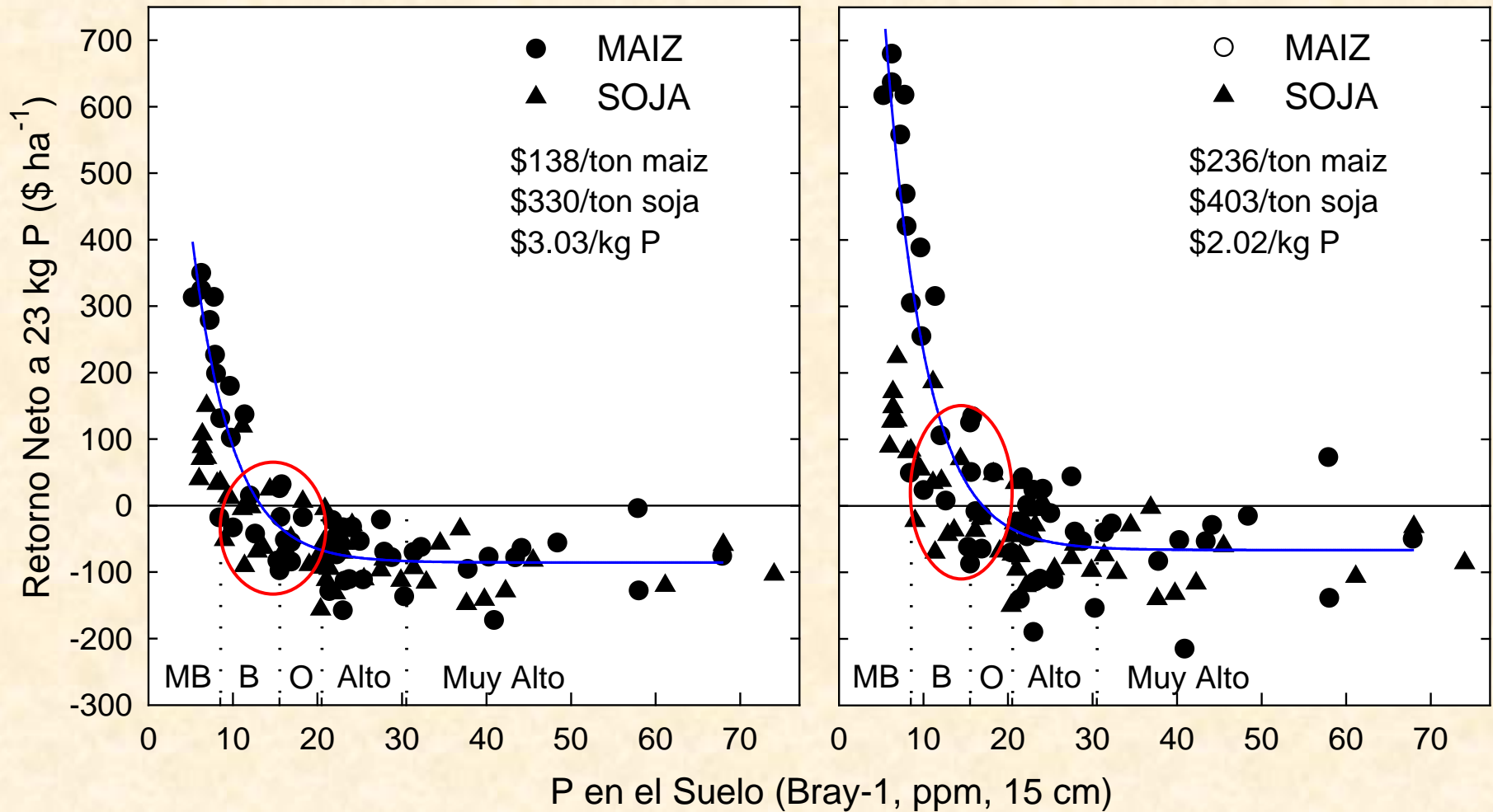
Potasio



Probabilidad de Respuesta

Clase	Probabilidad	
	Iowa	Wisconsin
	----- % -----	
Muy Bajo	> 80	> 90
Bajo	65	60 – 90
Optimo/Medio	< 25	30 – 60
Alto	< 5	5 – 30
Muy Alto	< 1	< 5

Clases Interpretativas y Precios



Manejo de los Niveles de P o K

- El suelo retiene P y K, a diferencia del N en zonas húmedas, lo que no significa "fijación" salvo en suelos extremos
- Se puede subir, mantener, o dejar bajar los niveles de P y K en el suelo
- Cuál es el nivel de análisis de suelo deseado. Dosis optimas a menudo aumentan los niveles
- Cómo se mantienen niveles deseados?

Manejo de los Niveles de P o K

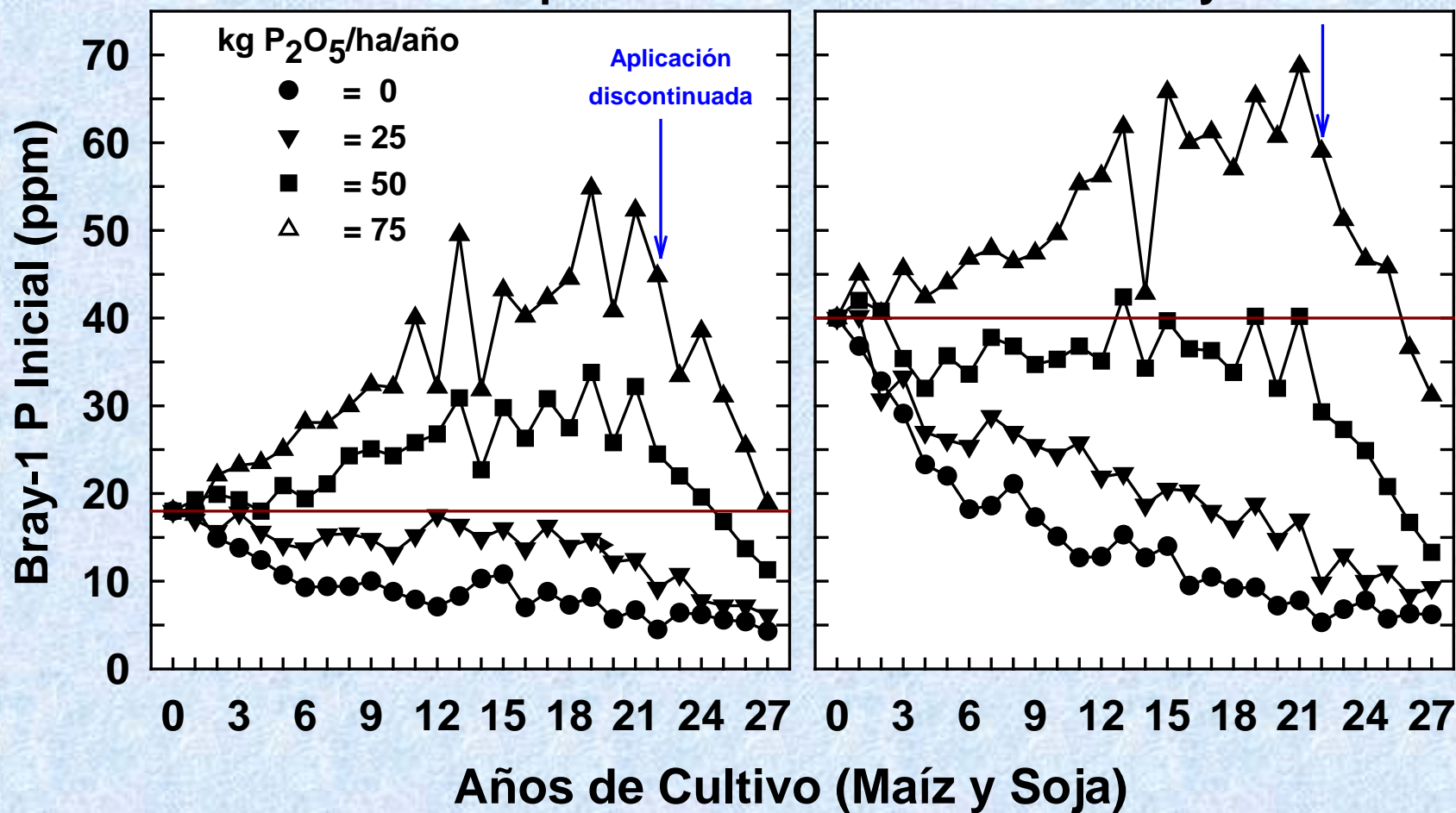
- Un exceso de P o K para un cultivo no es dinero desperdiciado necesariamente
- Puede usarse una filosofía de manejo a largo plazo cuando hay
 - » poca o no "fijación"
 - » tenencia de tierra segura
 - » suficiente dinero para otros insumos
- Diferente base para decidir dosis de fertilización y métodos de aplicación

Tendencias de P a Largo Plazo

Rotación Maíz-Soja

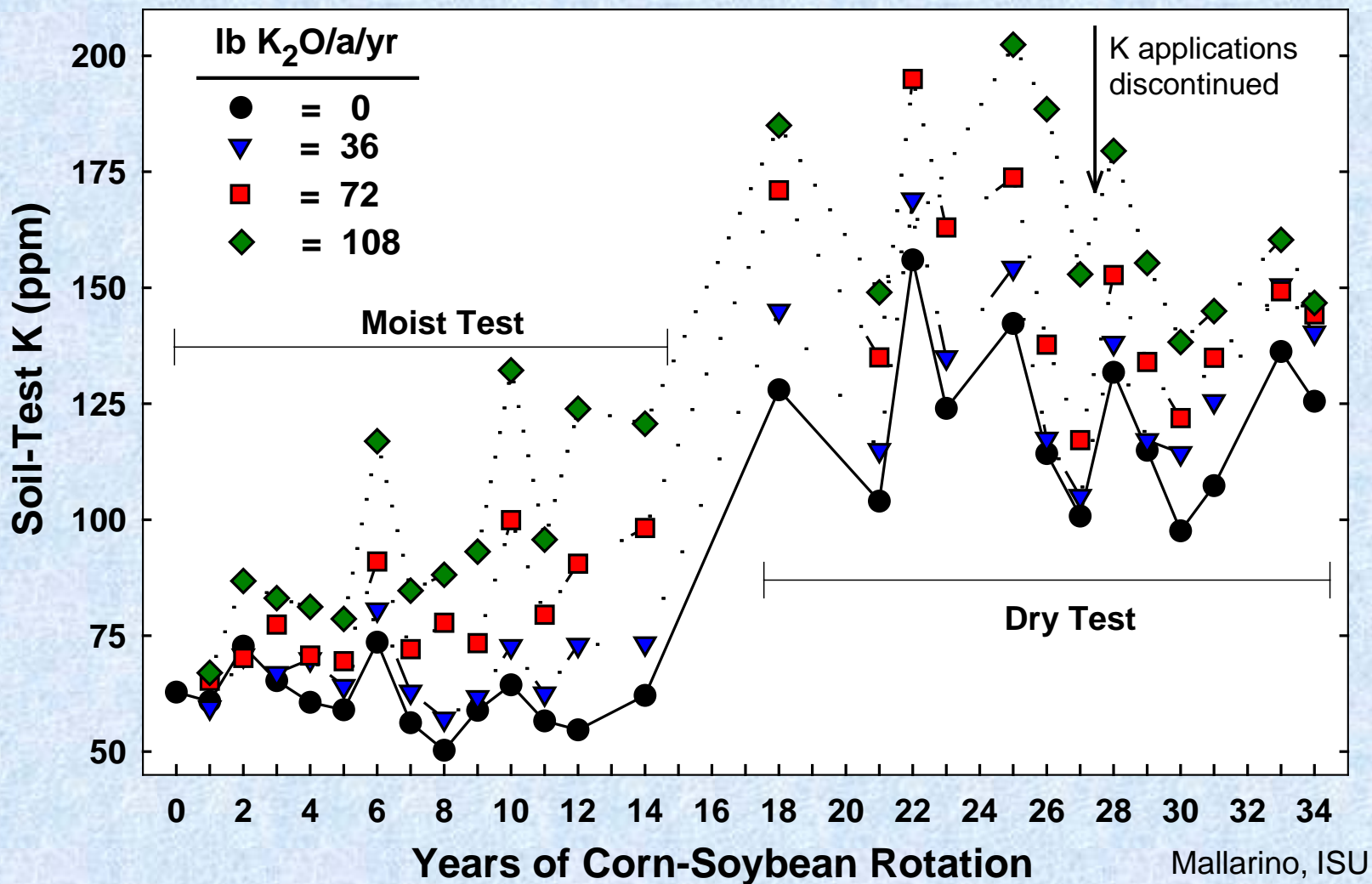
P Inicial Optimo

P Inicial Muy Alto

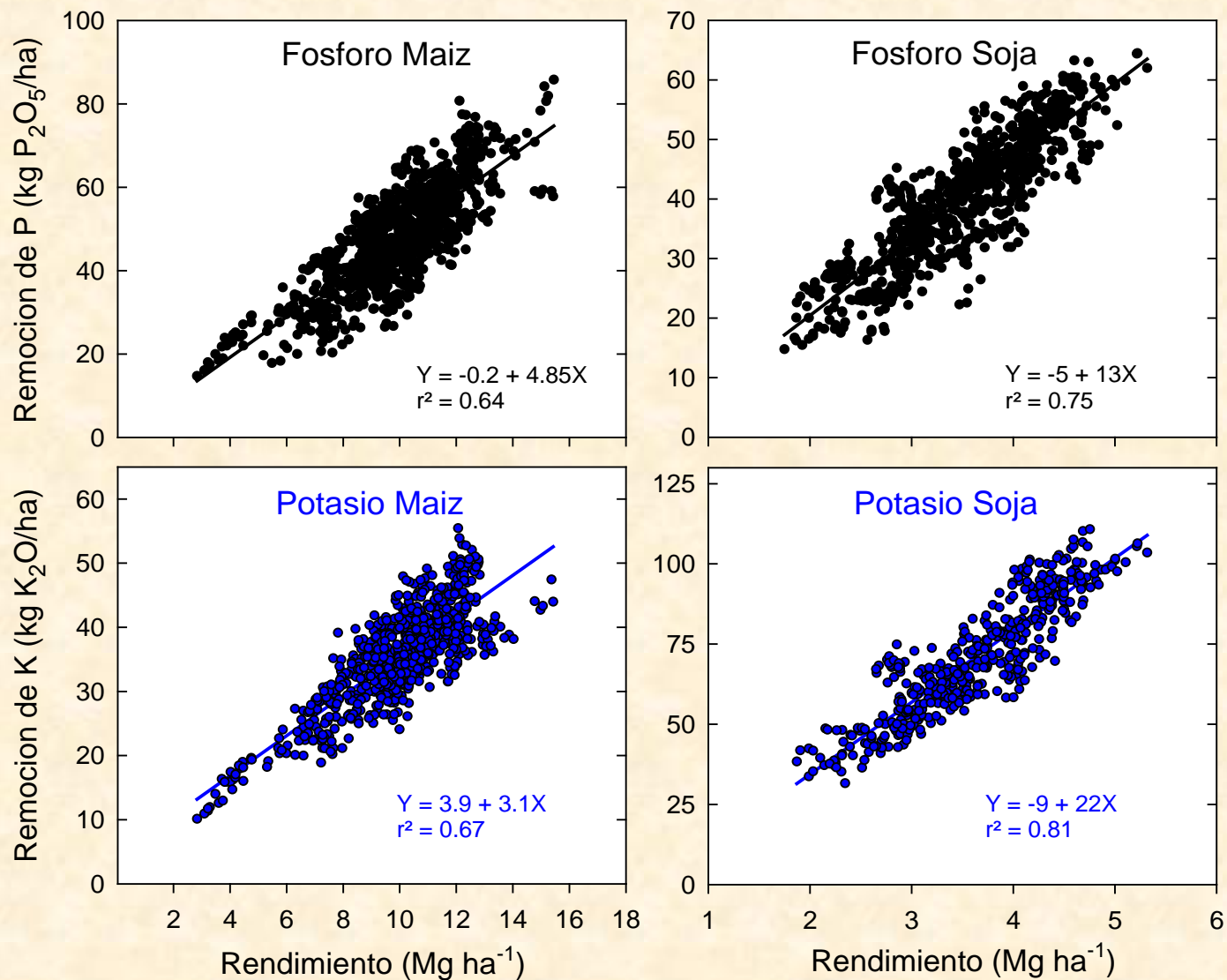


Tendencias de K a Largo Plazo

Rotación Maíz-Soja



Removal Increases with Higher Yields



Fuentes de P y K

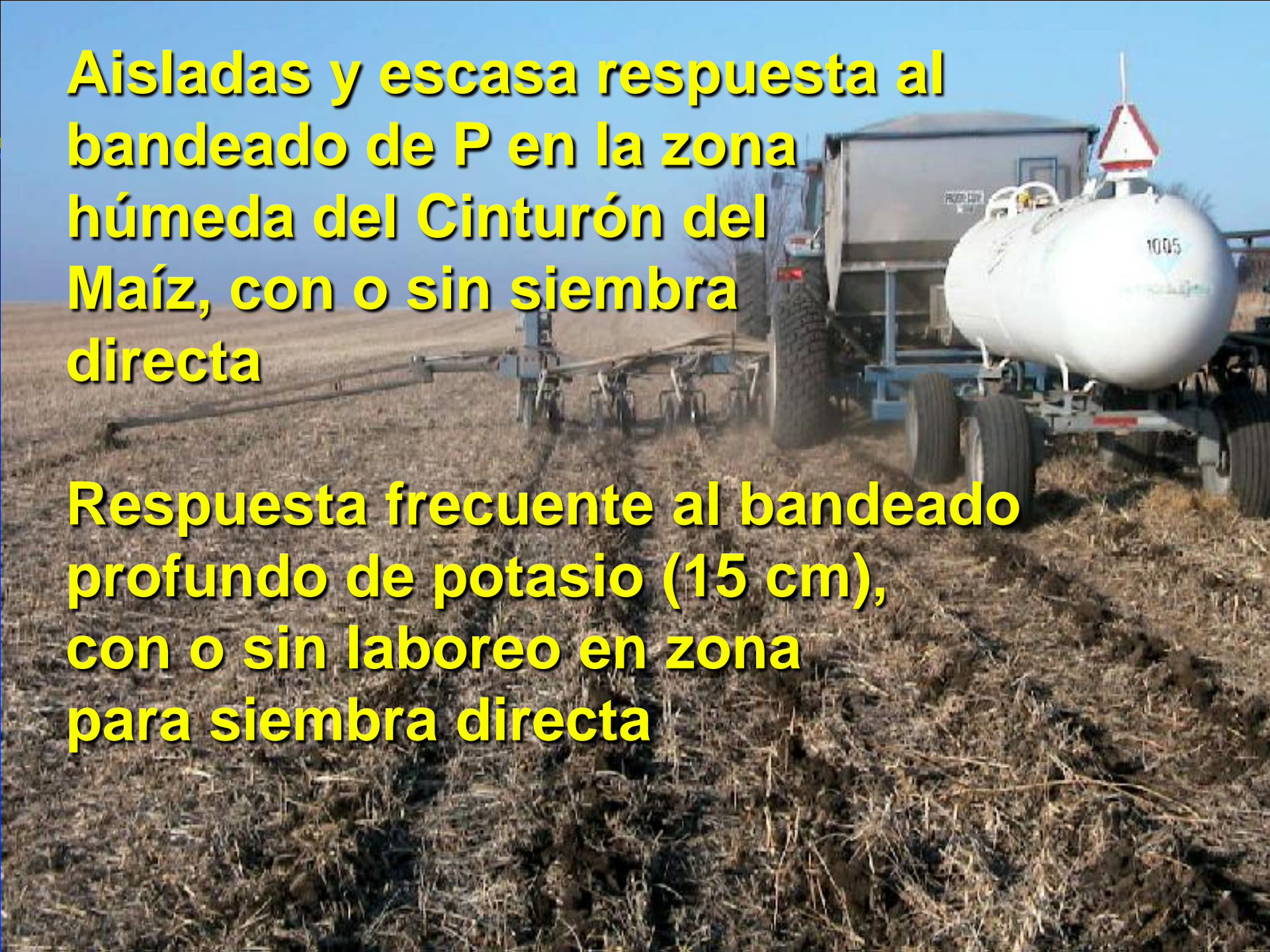
- No se usa fosforita en USA, pero eficaz dependiendo de precios, rotación, pH, filosofía de manejo y tenencia de tierra
- Otras fuentes: precios, granulado o liquido, otros nutrientes
- Uso de binarios o mezclas: pocas chacras necesitan la misma proporción de N-P-K
 - » En USA distribuidores mezclan a pedido para cada chacra al salir el camión
 - » Grave problema logístico en el Cono Sur

Métodos de Aplicación

- **Fertilización al voleo: práctica, barata, fecha de aplicación flexible, eficiente en muchas situaciones, largo plazo**
- **El bandeado puede ser mas eficiente con dosis y niveles de análisis de suelo muy bajos o en suelos muy arcillosos, alto % de óxidos de hierro, muy calcáreos, o con frecuente superficie seca**
- **Efecto starter en suelos húmedos y fríos o con siembras muy tardías**

**Aisladas y escasa respuesta al
bandeado de P en la zona
húmeda del Cinturón del
Maíz, con o sin siembra
directa**

**Respuesta frecuente al bandeado
profundo de potasio (15 cm),
con o sin laboreo en zona
para siembra directa**



Uso de starter líquido N-P o N-P-K líquido en el surco para maíz

Complemento de la fertilización primaria para maíz continuo o para maíz en rotación con soja para directa en suelos mal drenados y fríos



Consideraciones Importantes

- Incertidumbre respecto a diagnóstico de suficiencia, respuesta, y precios
- Actitud respecto a riesgo de inversión
- Tenencia de tierra: poco relevante para el manejo del N, importante para P y K
- Aspectos prácticos
 - » facilidad o complicación para el manejo
 - » disponibilidad y uso de equipo
 - » distribución de tareas a través del tiempo y en períodos críticos

Alternativas de Manejo

- **Tenencia de tierra inestable o mala condición económica?**
 - » Ser conservador, manejarse a bajos niveles de análisis de suelo y con dosis sub-óptimas puede tener sentido
 - » Se prioriza el beneficio al insumo fertilizante
 - » La eficacia del bandeo es más probable a niveles bajos
- **Pero si se limita el rendimiento también se limita el retorno a costos fijos y otros insumos cada vez más caros**

Si la Deficiencia es Probable

- **Con tenencia de tierra estable, porqué no apuntar a lograr el máximo retorno a la producción a largo plazo?**
 - » **P o K de más un año no es un exceso, se puede corregir en el futuro y brinda flexibilidad**
 - » **El beneficio de formas de aplicación costosas o imprácticas ya no es claro**
 - » **Más claro valor de inversión en nuevas tecnologías**

Si Estamos Cerca del Nivel Óptimo

- **Qué quiere decir óptimo? Reponer para qué?Cuál es la probabilidad de respuesta física o económica?**
- **Mantener o no, reponer o no, de acuerdo a**
 - » **filosofía para riesgo, inversiones, y complicaciones de manejo**
 - » **tenencia de tierra**
 - » **filosofía en relación a productividad del suelo a corto o largo plazo**

Agricultura de Precisión

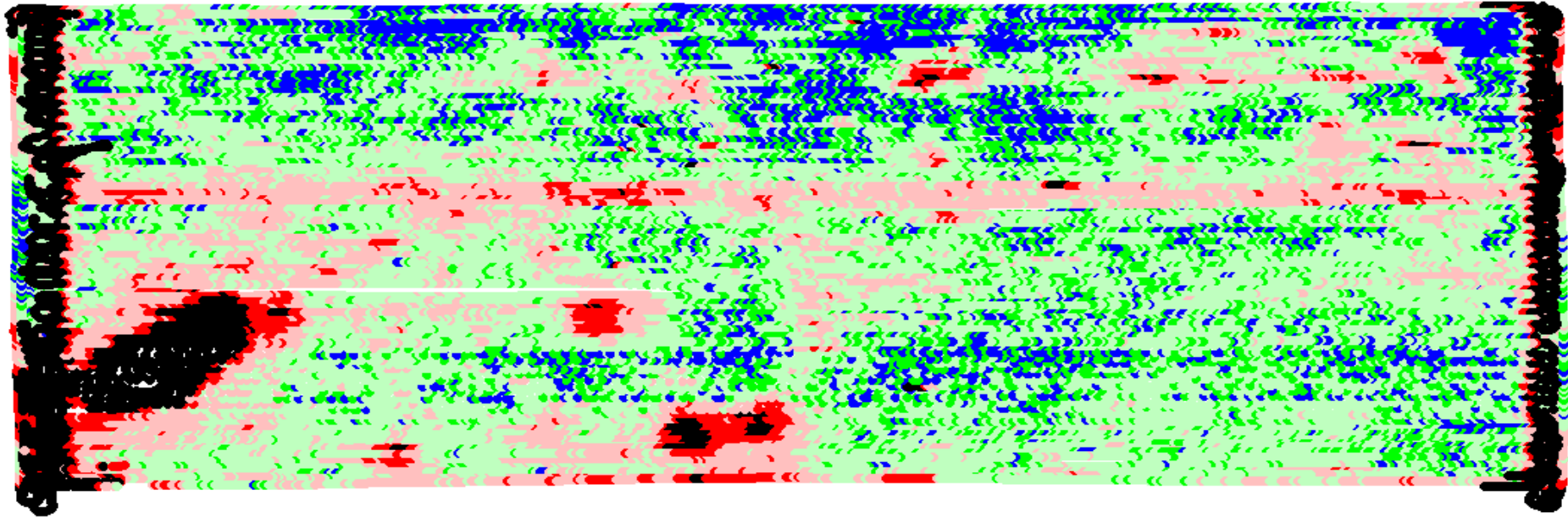
- **Conceptos:**
 - » Manejo de sitio específico: muchos “sitios” dentro de un campo
 - » Manejo de información georeferenciada
 - » Entender variabilidad para mejorar el manejo y la producción
- **Herramientas, aparatos:**
 - » GPS, GIS, monitor de rendimiento, sensores remotos varios, controladores y tecnología variable

Agricultura de Precisión y Fertilidad

- Como se puede usar nuevas técnicas para mejorar el manejo de fertilidad?
- No resuelven todo, continúan existiendo viejos problemas e incertidumbre
- Puede haber un manejo equivocado aún con aparatos nuevos y mapas de colores muy lindos
- A cuales aspectos claves de manejo de fertilidad se pueden aplicar y cómo?

GPS y Monitores de Rendimiento

Hasta el momento las más útiles y fáciles de implementar herramientas de agricultura de precisión



Monitores de Rendimiento

- Revela y mapea zonas con diferente rendimiento o "ambientes", cosa común con chacras cada vez mas grandes
- Relación con factores de crecimiento:
 - » Qué determina la variación espacial de rendimiento?
 - » No hay relaciones simples
 - » En general agua (escasez o exceso), propiedades físicas, y N (en cereales) determinan la variación de rendimiento

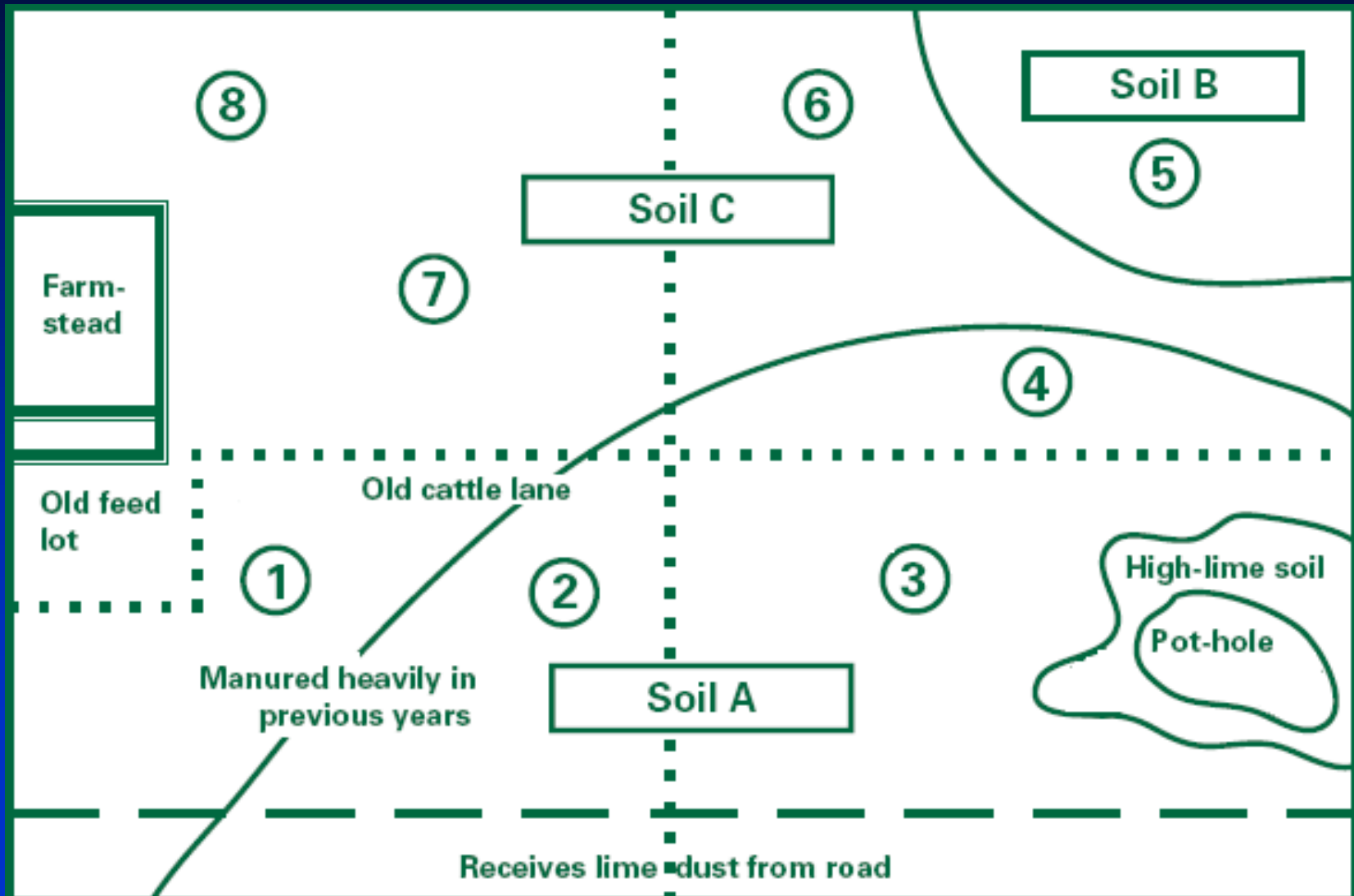
Interpretando Mapas de Rendimiento

- El rendimiento absoluto no es un buen índice de fertilidad. Niveles de nutrientes se relacionan bien con rendimiento relativo o respuesta a la fertilización
- Una de las herramientas útiles para delinear áreas a estudiar y muestrear dentro de chacras
- Útil para estimar remoción de nutrientes con la cosecha, lo que a su vez es útil para manejo de P y K pero no N o azufre

Análisis de Suelo Georeferenciados

- **La variabilidad de nutrientes dentro de campos varía mucho y a varias escalas**
 - » **Natural: material madre, tipo de suelo, pendiente - ocurre a una escala grande**
- **Debido a manejo: erosión, laboreo, fertilización, remoción - ocurre a escalas grandes y pequeñas**
- **Hay alta micro-variación con largas historias de fertilización y siembra directa, especialmente con bandeado**

Muestreo Tradicional Georeferenciado

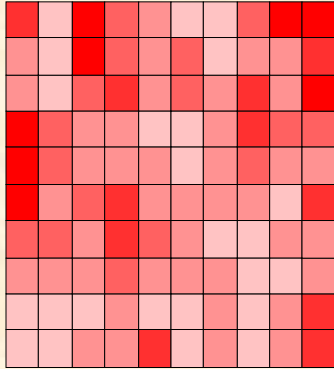


Porqué Muestrear por Tipo de Suelo

- **Factores de formación de suelo afectan el contenido total de nutriente o su disponibilidad para las plantas**
 - » **propiedades mineralógicas o químicas afectan directamente la disponibilidad o la eficiencia de la fertilización**
 - » **propiedades físicas afectan rendimiento potencial y la remoción de nutrientes**
- **Si esto no se cumple este método de muestreo no sirve!**

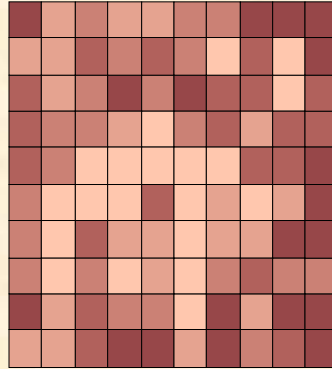
Variabilidad dentro de Unidades de Mapeo

Fósforo



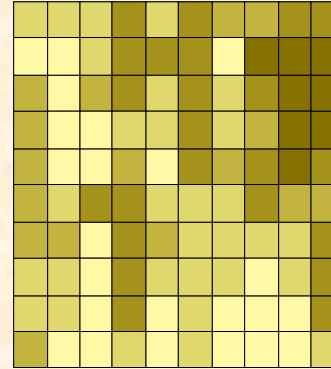
16-86 ppm

Potasio



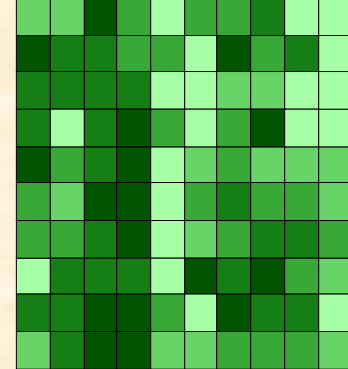
111-302 ppm

pH



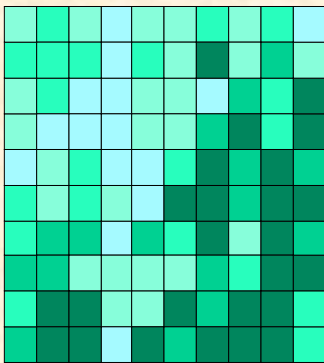
5.6-7.0

Nitrato



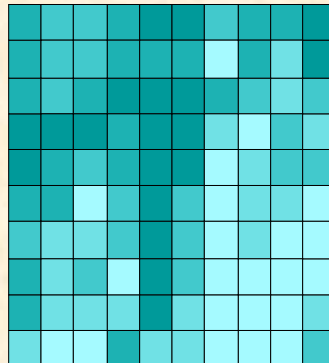
2-28 ppm

Calcio



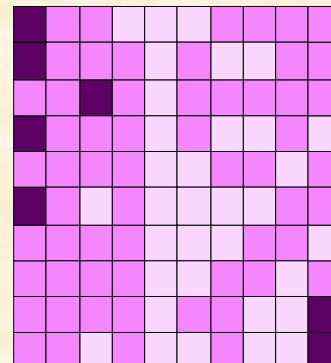
1300-3200 ppm

Magnesio



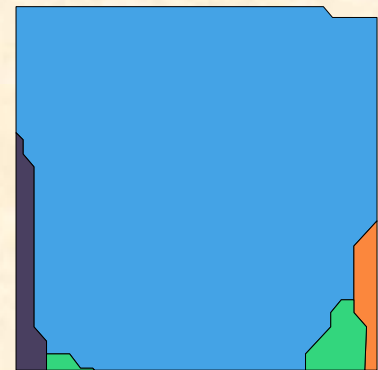
49-456 ppm

Mat. Org.



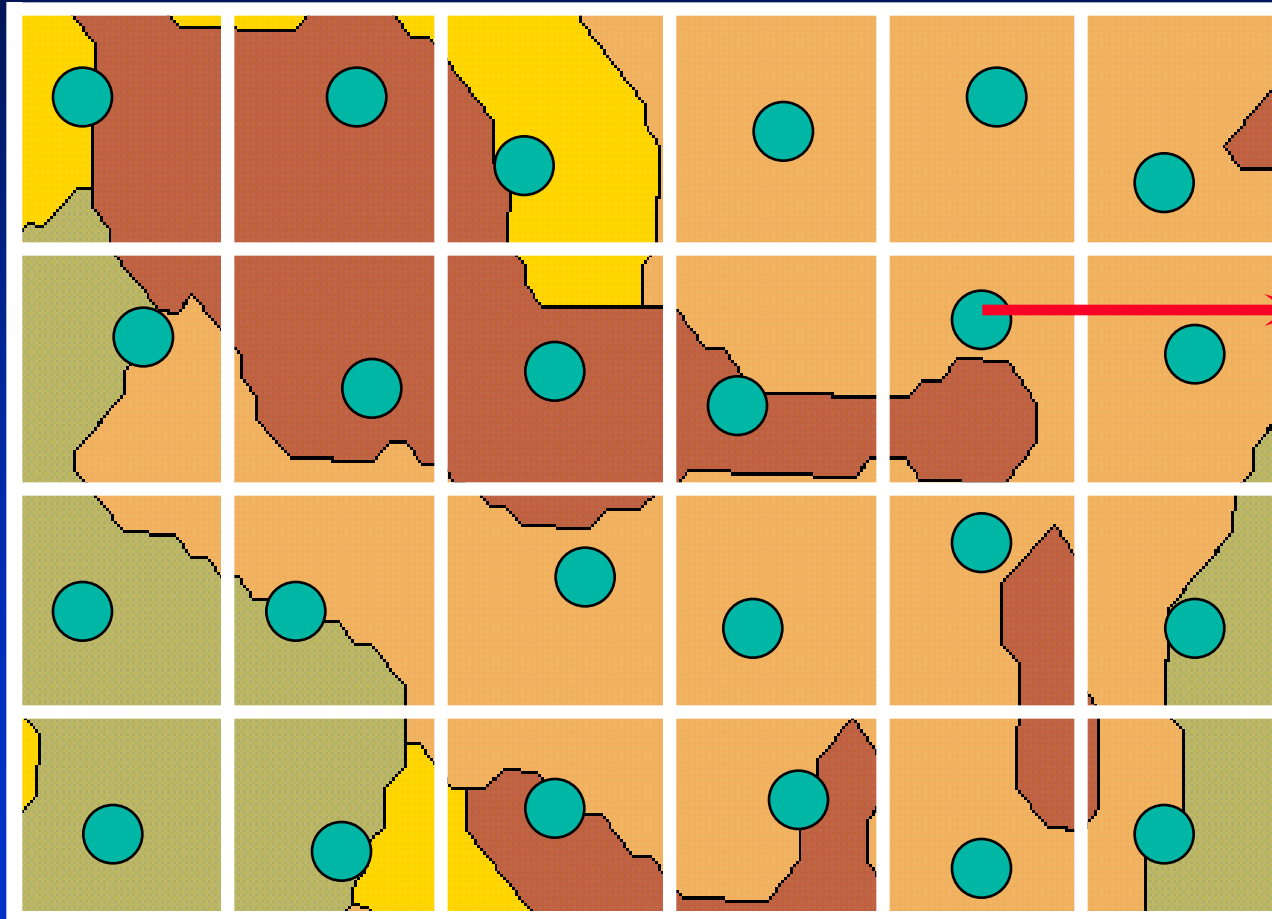
2.6-4.8 %

Unidad de Mapeo



Muestreo de Grilla en EE.UU

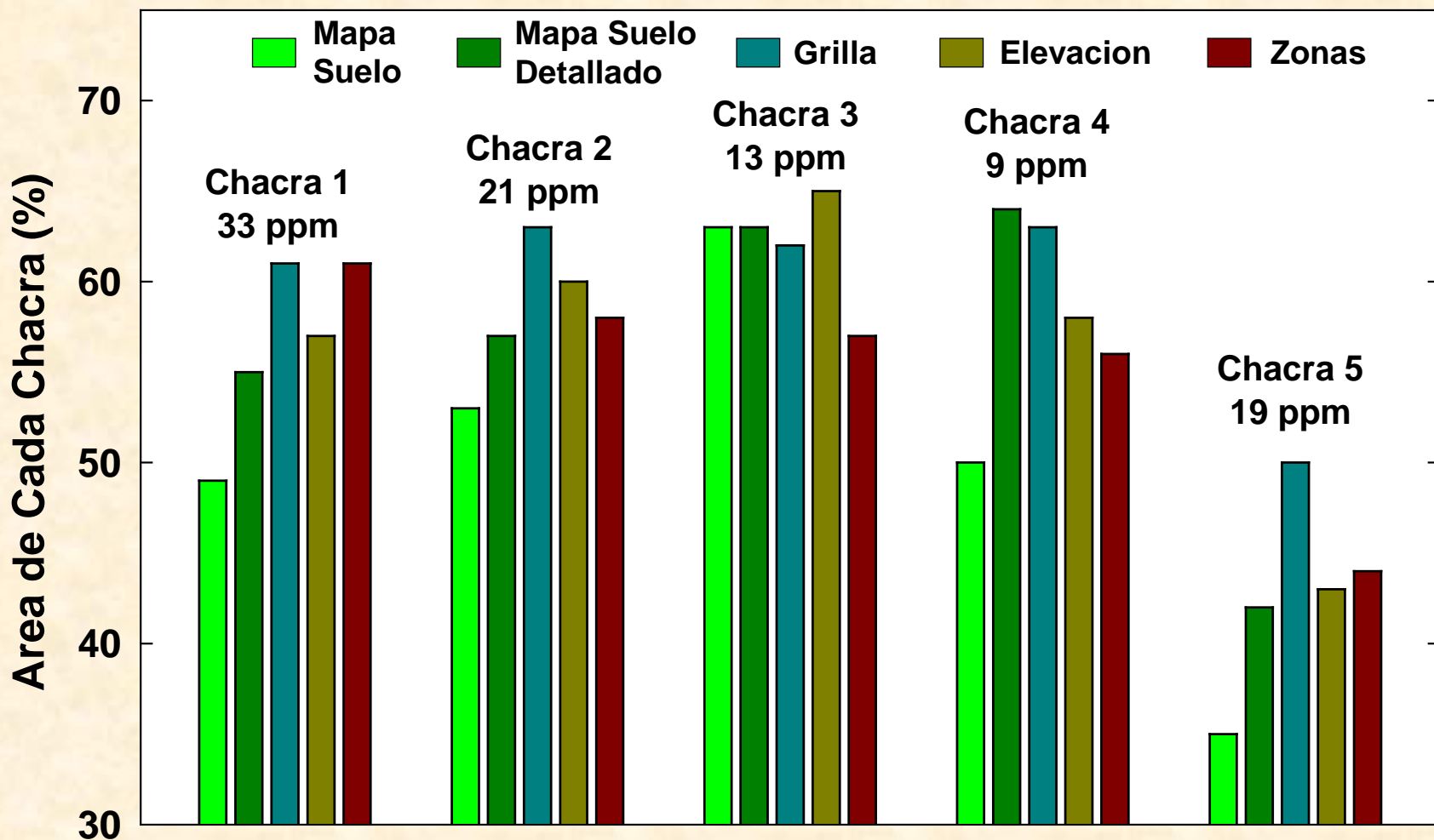
Sistemático, Puntos no Alineados, o al Azar Dentro de Celdas



punto
4 a 12 tomas
100 a 400 m²

Muestras Para P y Fertilización

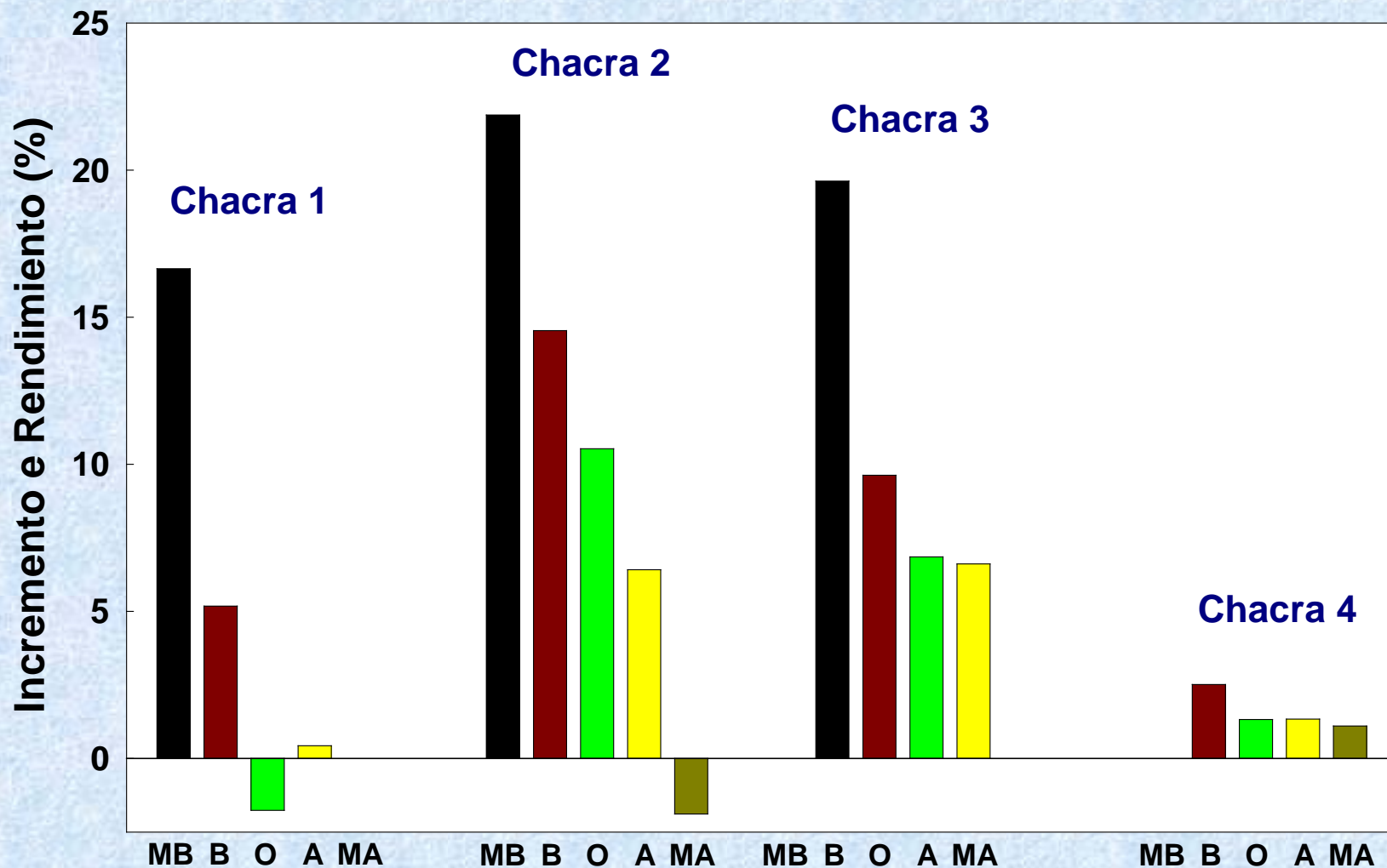
PROPORCION DE CADA CHACRA CON FERTILIZACION CORRECTA



Evaluación En Base a Respuesta

- Jorge Sawchik PhD en Iowa
- Que método predijo mejor la variación de respuesta a P y K dentro de chacras?
 - » Grilla 0.1 a 0.3 ha ----- 100%
 - » Grilla 1 ha ----- 50%
 - » Zona ----- 39%
 - » Mapa de suelo ----- 22%
- Largas historias de fertilización borran efectos de suelo y topografía y crean alta variabilidad dentro de unidades de mapeo

Variación en la Respuesta a P



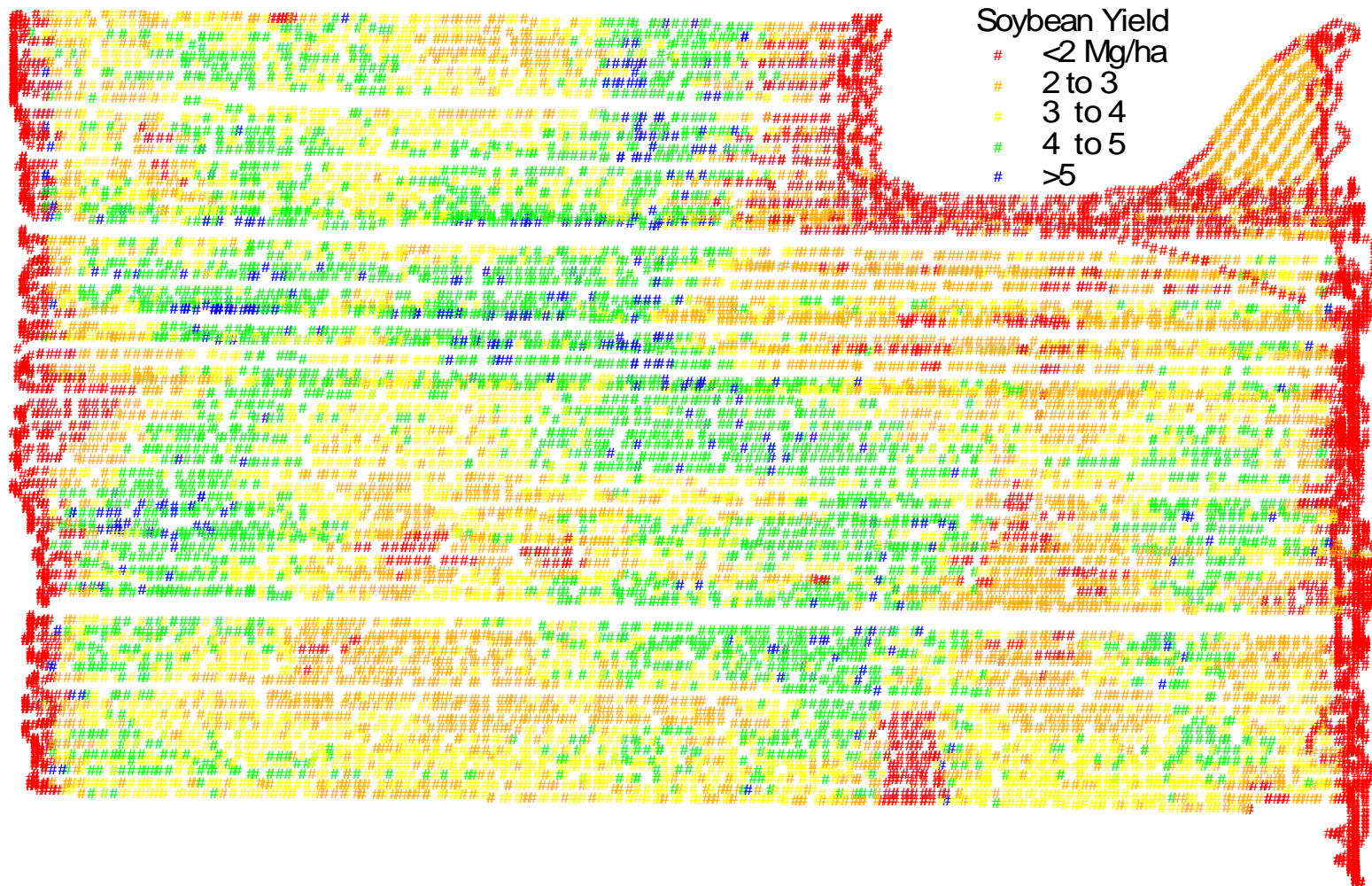
Alternativas Efectivas Posibles?

- El muestreo de grilla tiene que ser denso y es caro: en USA celdas de 1 a 2 ha, muestreo espaciado cada 4 años. Uso de celdas más grandes reduce su eficacia
- Alternativas más baratas y prácticas
 - » Sensores de disponibilidad de nutrientes directos o remotos
 - » Muestreo en zona: información indirecta tradicional y de agricultura de precisión para definir áreas a muestrear

Sensores Remotos y Diagnóstico

- **En el mercado: medidor directo de pH "en la marcha", aún requiere calibración local**
- **Sensores remotos**
 - » **Aparatos que miden varias longitudes de onda y relaciones entre ellas**
 - » **Útiles para medir salinidad, materia orgánica en algunas zonas, y c deficiencias de N, algunos micronutrientes, clorosis debido a deficiencias de N, azufre, o hierro**
 - » **Todavía no son útiles para medir en forma adecuada deficiencias de P o K**

Mapas de Rendimiento



Imágenes Aéreas y Satelitales

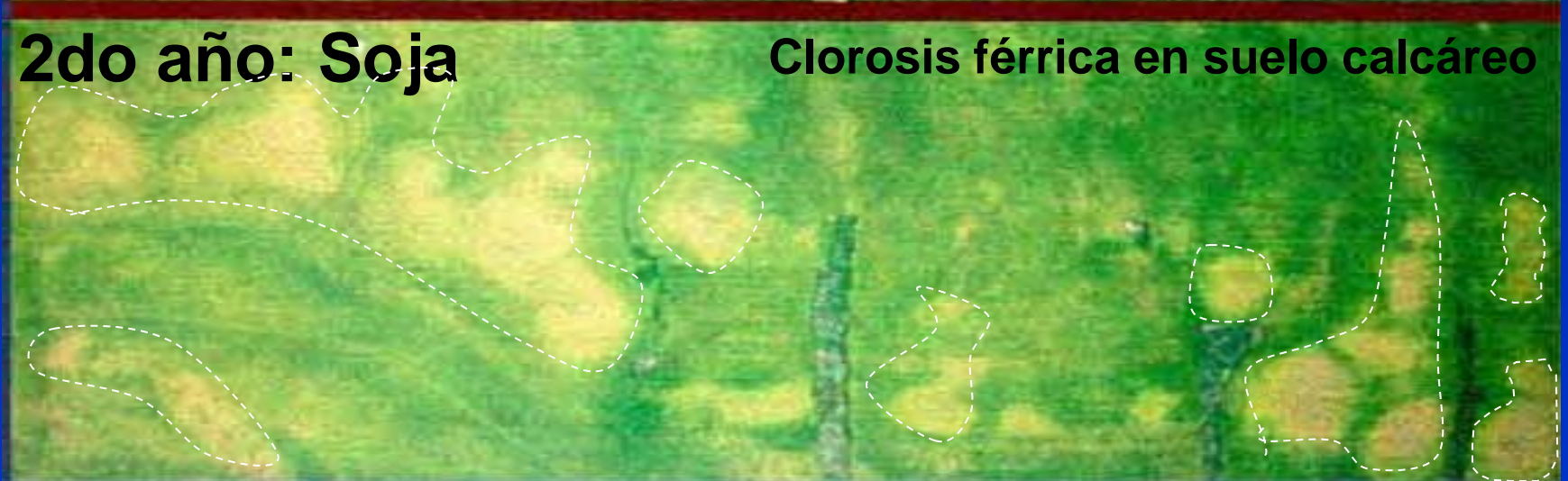
1er año: Maíz

Pérdida de N en suelo calcáreo



2do año: Soja

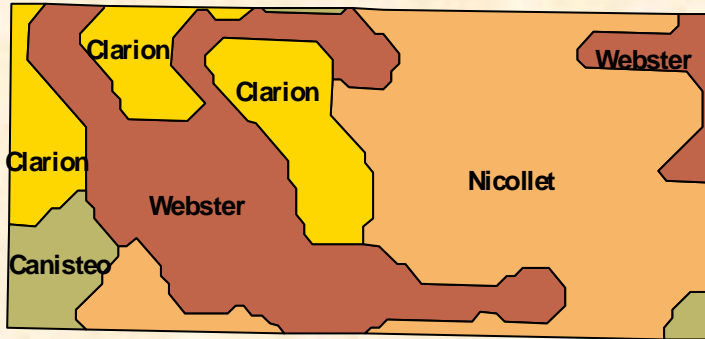
Clorosis férrica en suelo calcáreo



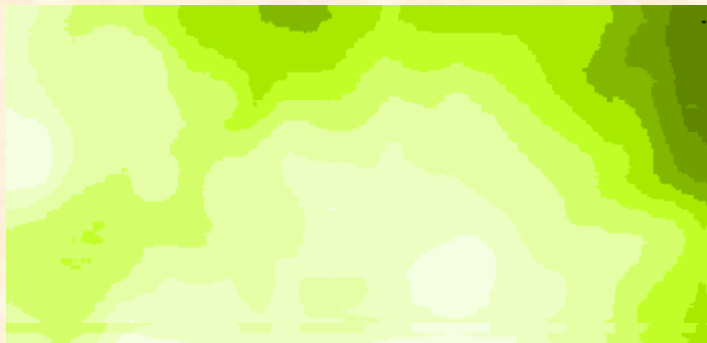
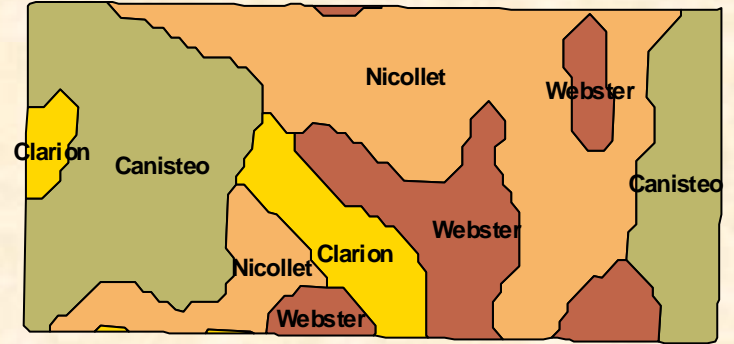
Conductividad Eléctrica

- **Veris 3100 (contacto directo), EM-38 (inducción electromagnética)**
- **Útil como una herramienta entre varias para delinear zonas a muestrear**
- **Que se mide realmente? Sales, agua, textura, horizontes compactados, tosca o piedra. Hay variación estacional**
- **Cuidado con asumir relaciones directas con niveles de nutrientes o pH**

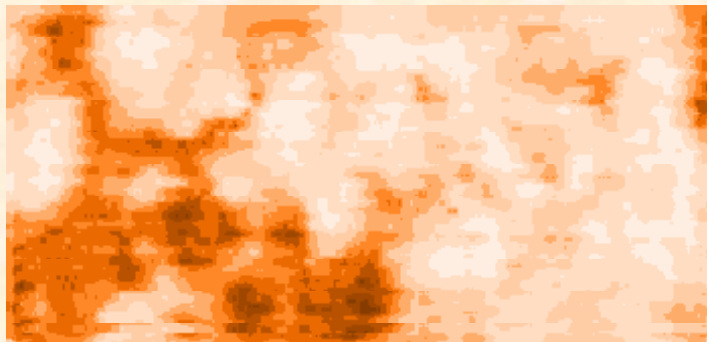
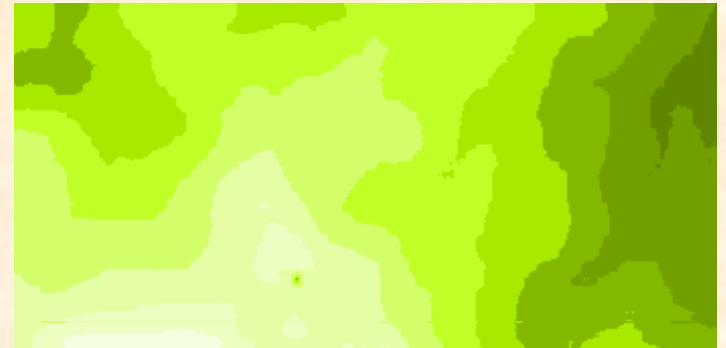
CE, Elevación, y Tipo de Suelo



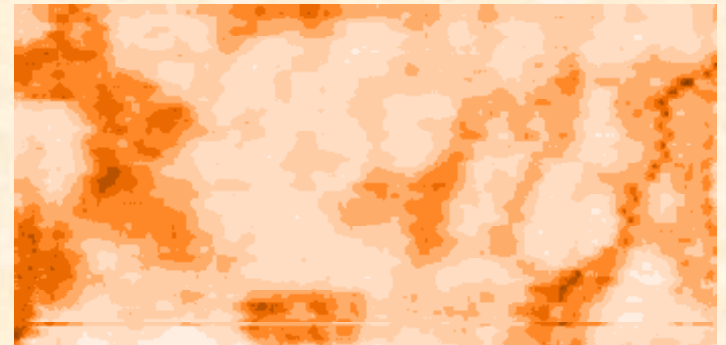
Soil Types
Webster
Clarion
Canisteo
Nicollet



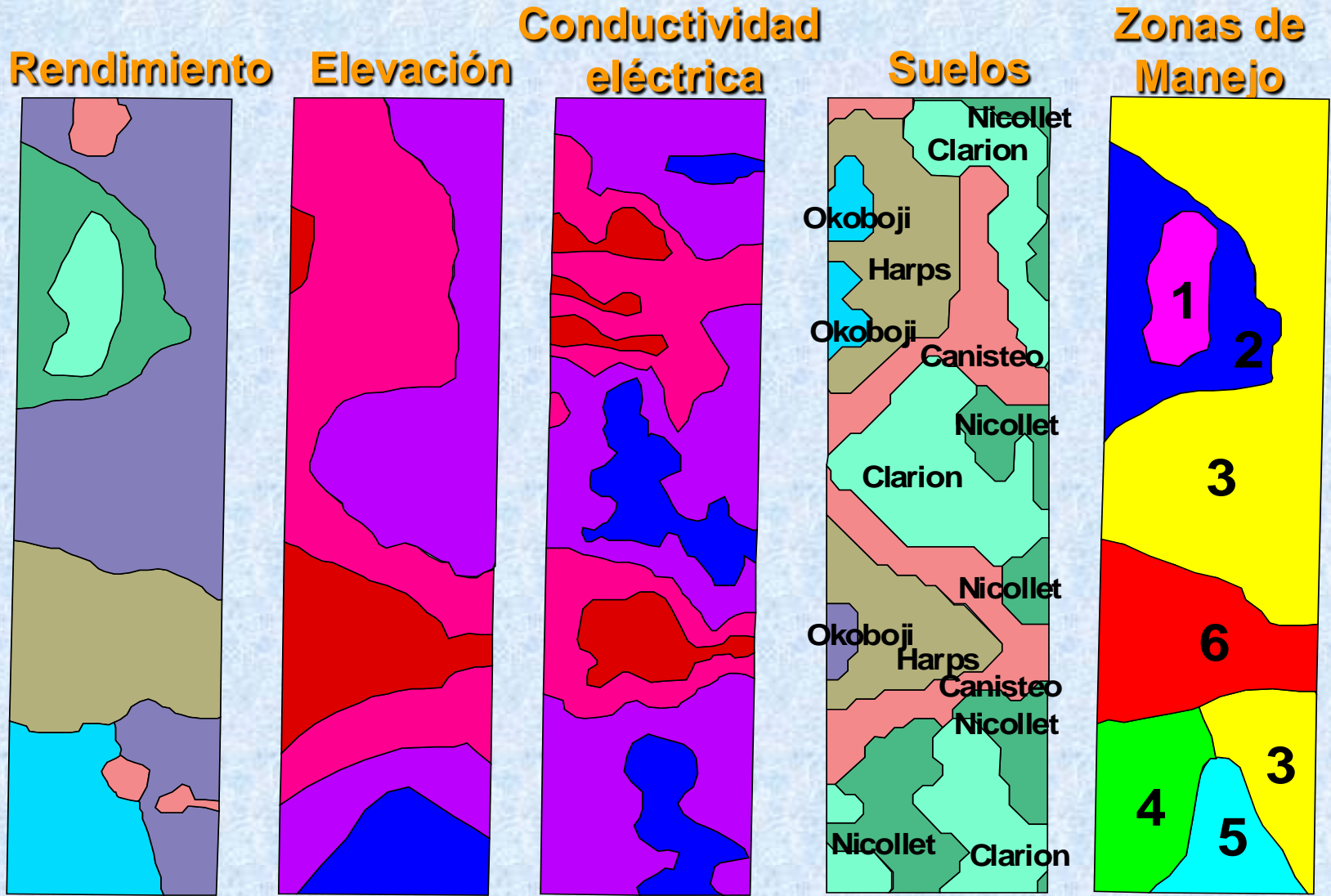
Elevation (ft)
1148 - 1150
1151 - 1152
1153 - 1154
1155 - 1156
1157 - 1158
1159 - 1160
1161 - 1162
1163 - 1164
1165 - 1166
No Data



Veris EC
15 - 21
22 - 27
28 - 33
34 - 40
41 - 46
47 - 52
53 - 58
59 - 64
65 - 71
No Data



Muestreo de Suelo en Zona



Tecnología de Aplicación Variable

- **Reconoce variación dentro de chacras**
- **No se puede maximizar la eficacia manejando fertilidad para el promedio de la chacra!**
- **Ya se puede adaptar a sembradoras o a equipo pequeño pero no es práctico**
 - » **en que se basaría, cantidad a aplicar, costo de equipo y software, economía de escala: fácil de implementar por distribuidores y cooperativas**

Tecnología de Aplicación Variable

- **Reconoce alta variación dentro de campos**
- **Uso muy común para encalado y fertilización con P y K en zonas de maíz, soja, y trigo**
- **Basada en muestreo por ambiente o grilla, combinada con estimaciones de remoción basadas en mapas de rendimiento**



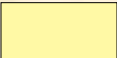
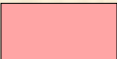

La tecnología ya se podría aplicar a fertilización con la sembradora pero no es práctico

- 
- Volúmenes, fertilización para la rotación
 - No hay respuesta al bandeado
 - Economía de escala: fácil de implementar por distribuidores y cooperativas

Experimentación de Campo

Maíz

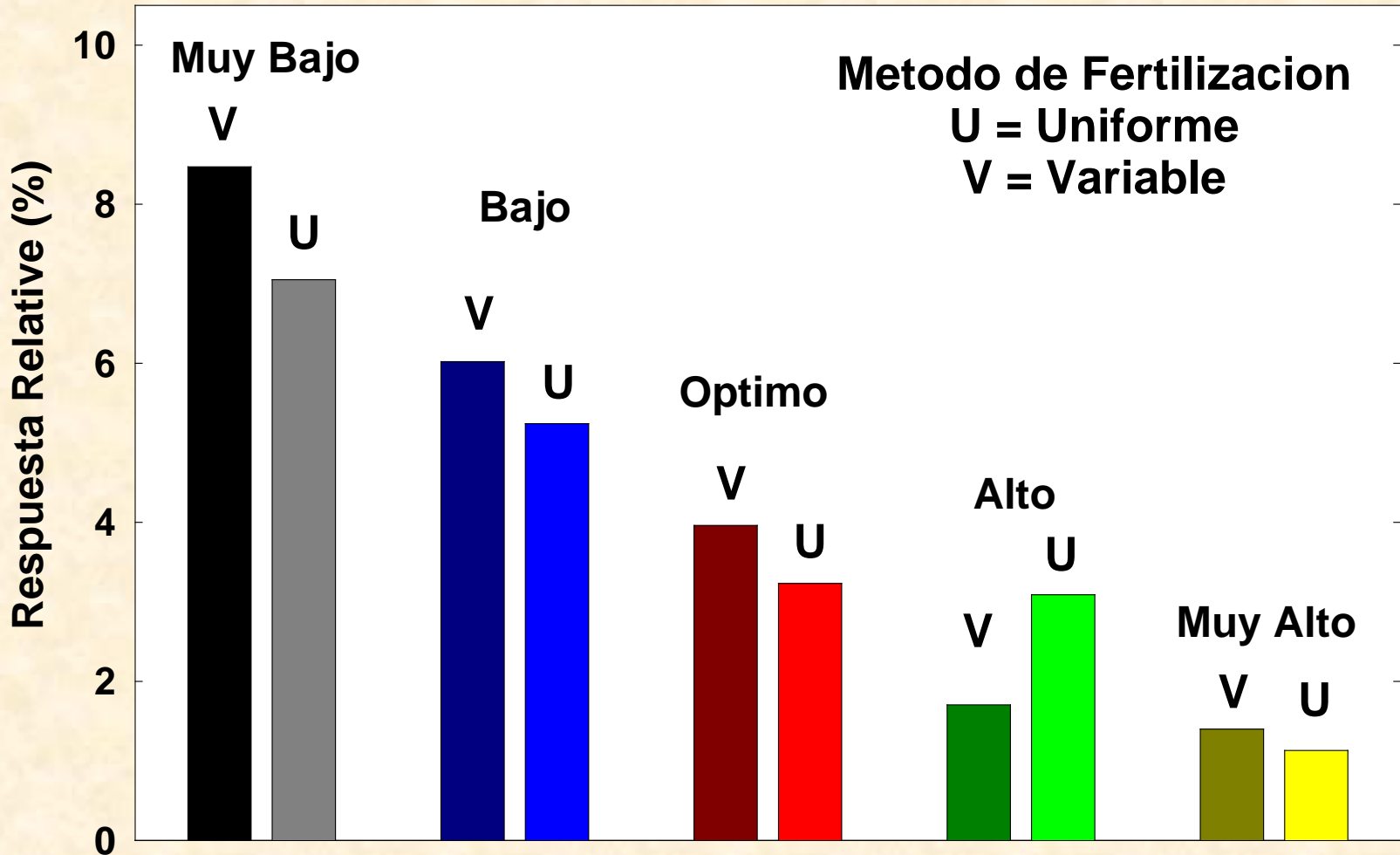
Tratamiento

-  **Control**
-  **Uniforme**
-  **Variable**

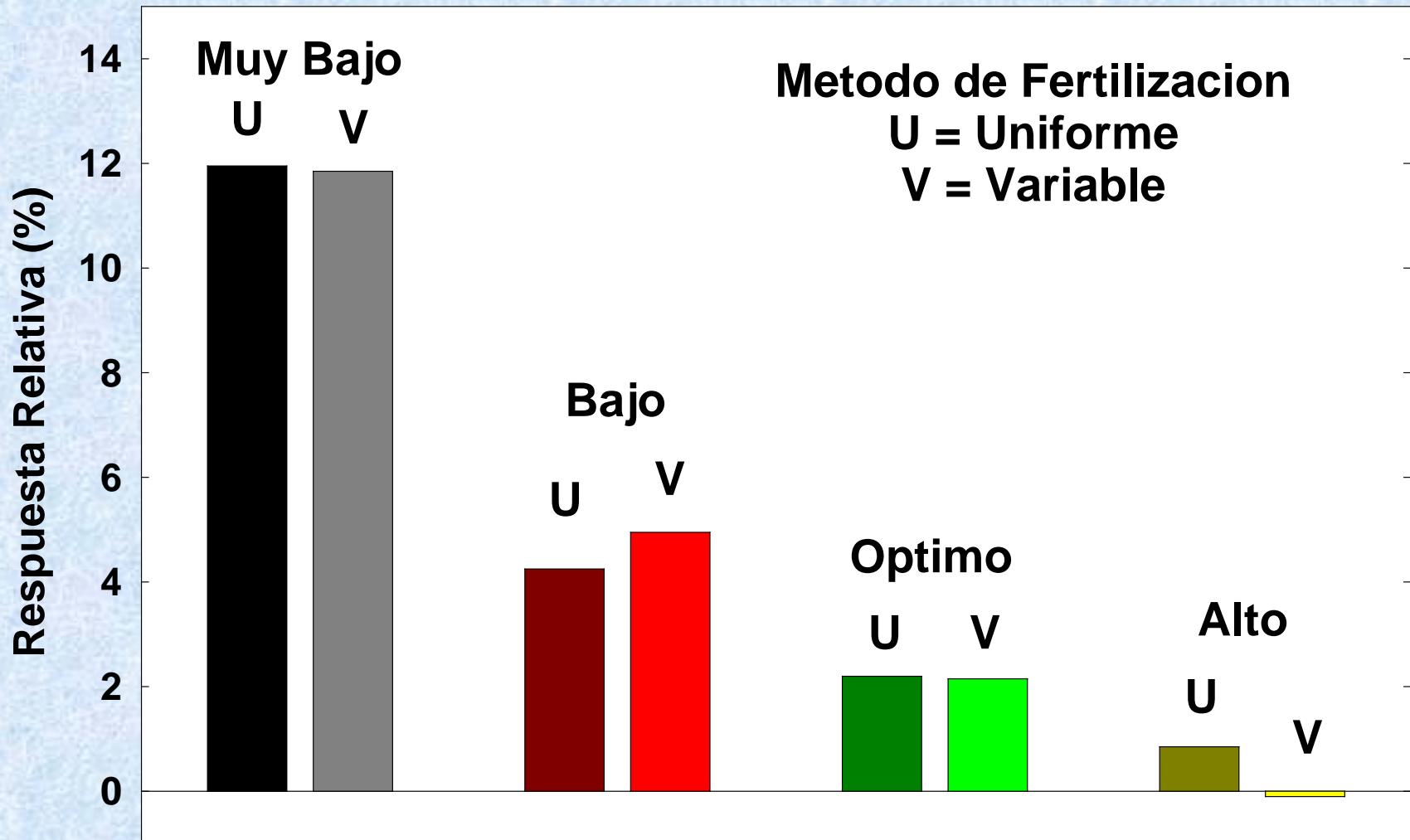
Soja



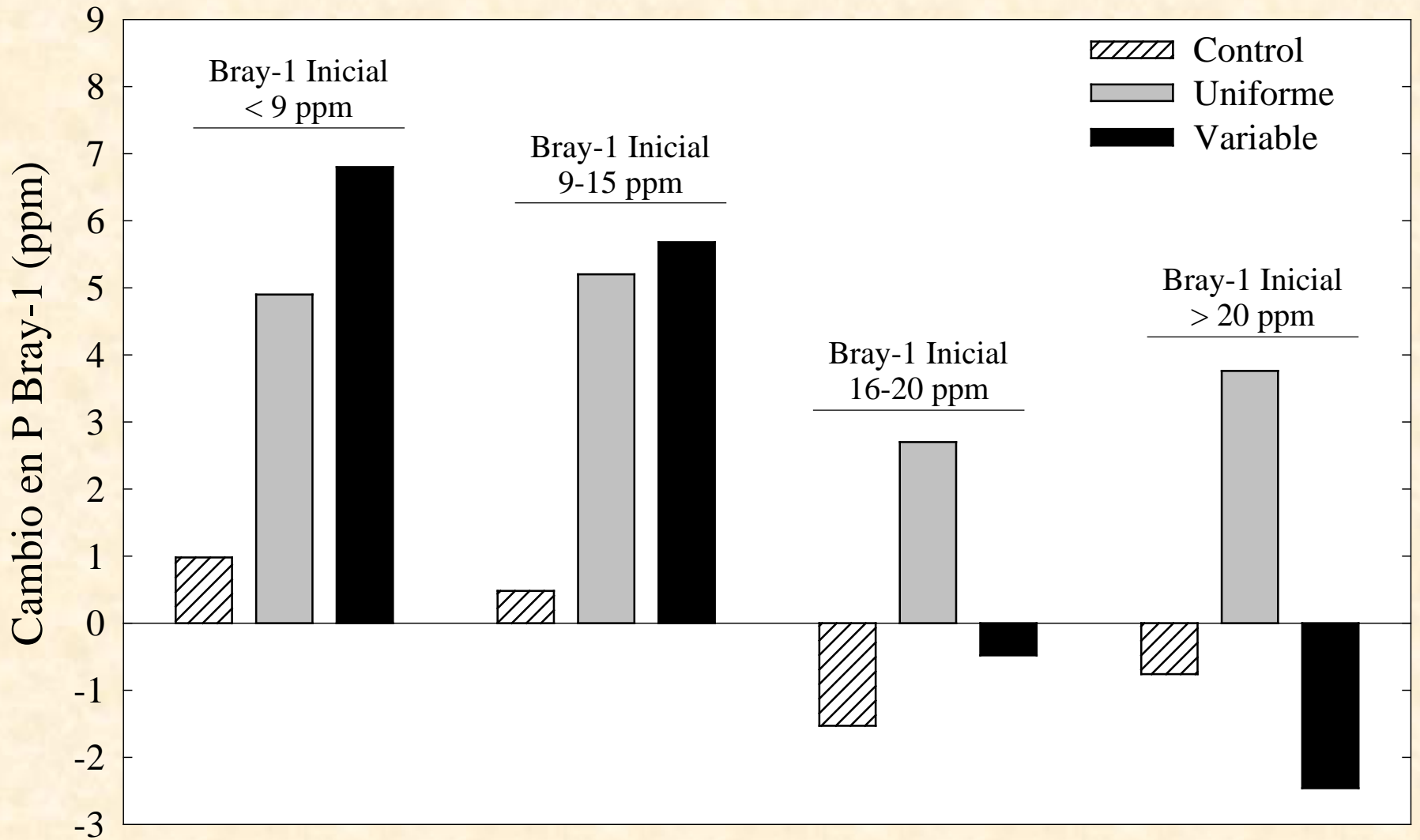
Ejemplo 1: Respuesta y Nivel de P



Ejemplo 2: Respuesta y Nivel de P



VRT y Eficacia de Distribución



Cuando es la VRT más Efectiva?

- **Alta variación de nutrientes o pH a gran escala mayor a la microvariación y de valores bajos a óptimos a altos**
- **Diferencias de rendimiento grandes y consistentes a través del tiempo para hacer reposición basado en monitores**
- **Precios o regulaciones ambientales desfavorables: maximiza la eficacia en zonas con bajos niveles de disponibilidad y no se fertilizan zonas con niveles altos**

Uso de Ag de Precisión en Uruguay?

- **Cuántos fertilizan basados en criterios racionales?**
 - » **Cuántos fertilizan basado en análisis de suelo denso o no, consideran niveles de rendimiento y remoción, o quieren una mezcla NPKS mágica para usar en todas las chacras?**
- **Cuál es la variabilidad de disponibilidad, rendimiento y remoción dentro de campos?**
- **Quién puede ofrecer VRT y a qué costo?**
- **Primero deben mejorarse la mentalidad, aspectos básicos, e infraestructura!**

Que Filosofía de Manejo es Mejor?

- No hay una única manera “mejor” de manejar la fertilidad
- Varias alternativas son más o menos eficaces dependiendo de las condiciones y la filosofía empresarial del productor
- Lo importante es tomar decisiones racionales basadas en conocimiento del nivel de fertilidad, la probabilidad de la respuesta, de lo que se quiere lograr, y de los riesgos que se quieren asumir

apmallar@iastate.edu
www.agronext.iastate.edu/soilfertility

