



El Manejo Responsable 4R de los Nutrientes Los 4 Requisitos

Fernando O. García

**Instituto Internacional de Nutrición de
Plantas (IPNI) - Cono Sur**

<http://lacs.ipni.net/>

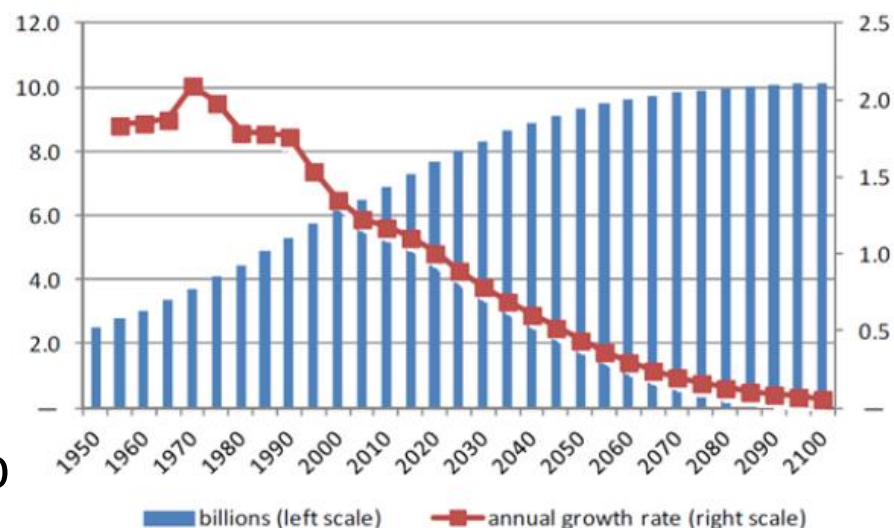


Demandas, desafíos y oportunidades para la agricultura

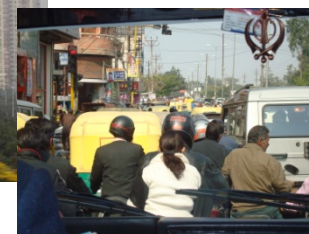


- Demandas crecientes en cantidad y calidad de alimentos, forrajes, biomateriales, fibras y biocombustibles
- Los desafíos para la agricultura
 - Desarrollo humano y económico
 - Seguridad alimentaria
 - Seguridad energética
 - Uso de tierras
 - Efectos sobre el ambiente (externalidades)

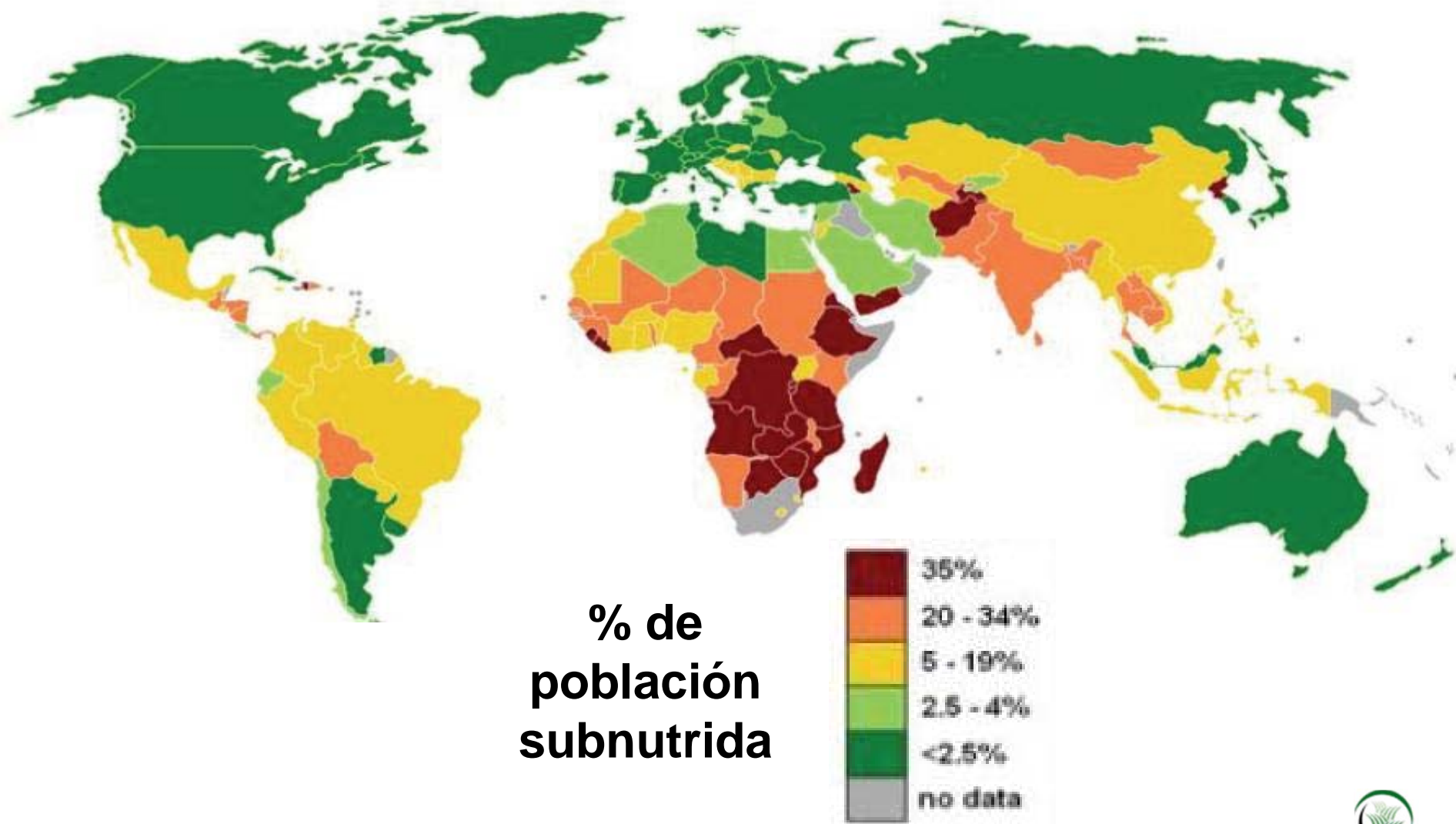
Evolución de la población mundial



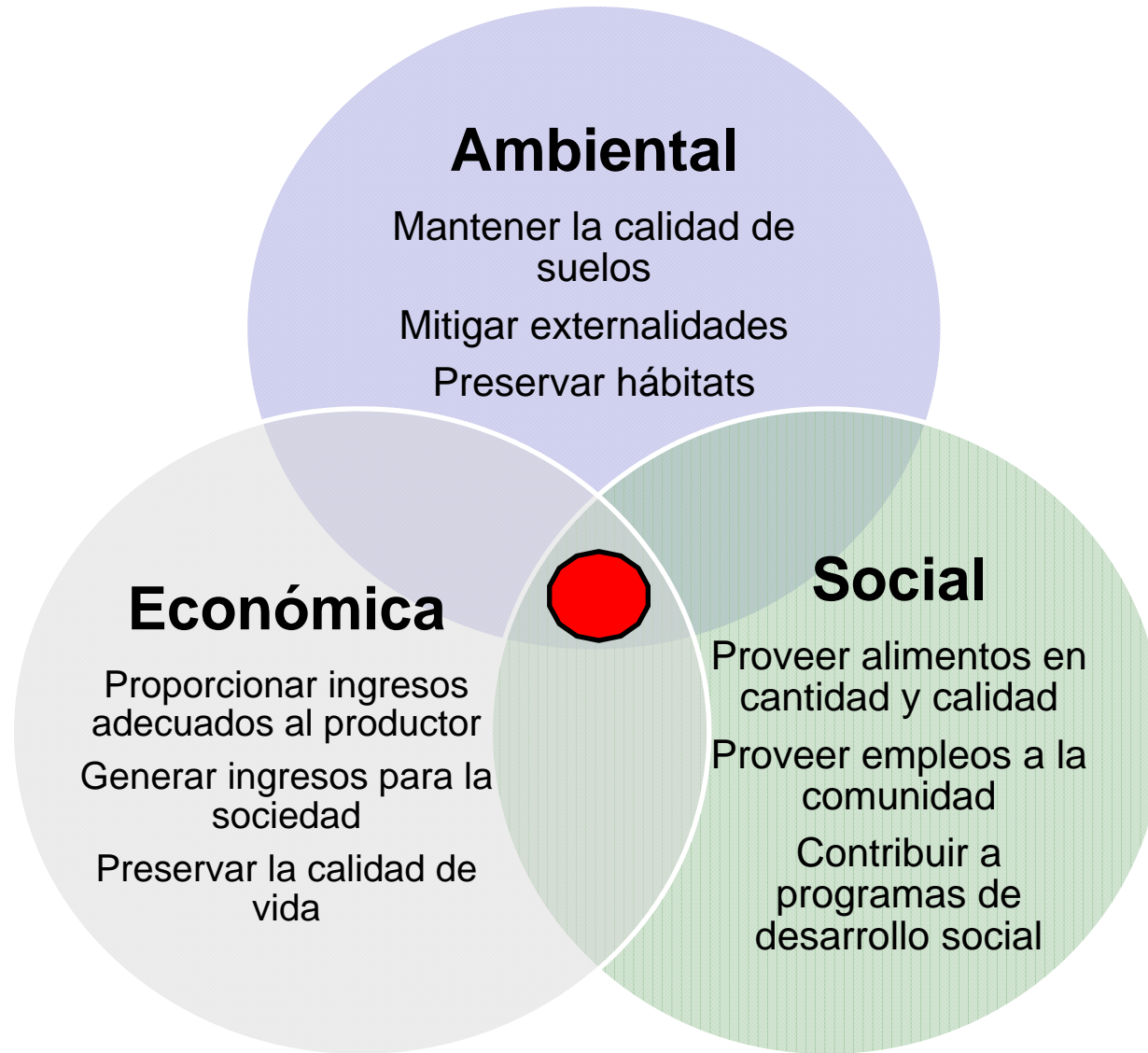
Fuente: ONU (2010)



Nuestro mayor desafío: El permanente “verdeo” de este mapa



Objetivos de sustentabilidad



Comisión Brundtland, ONU, 1987



El Manejo Responsable 4R de los nutrientes – los 4 Requisitos

El Manejo Responsable 4R de los nutrientes implica “aplicar la fuente de nutrientes **correcta**, a una dosis **correcta**, en el momento **correcto** y el lugar **correcto**”, una herramienta esencial en el desarrollo de sistemas agrícolas sostenibles.





*Principios científicos específicos
fundamentan las MPM de cultivos y
uso de fertilizantes*

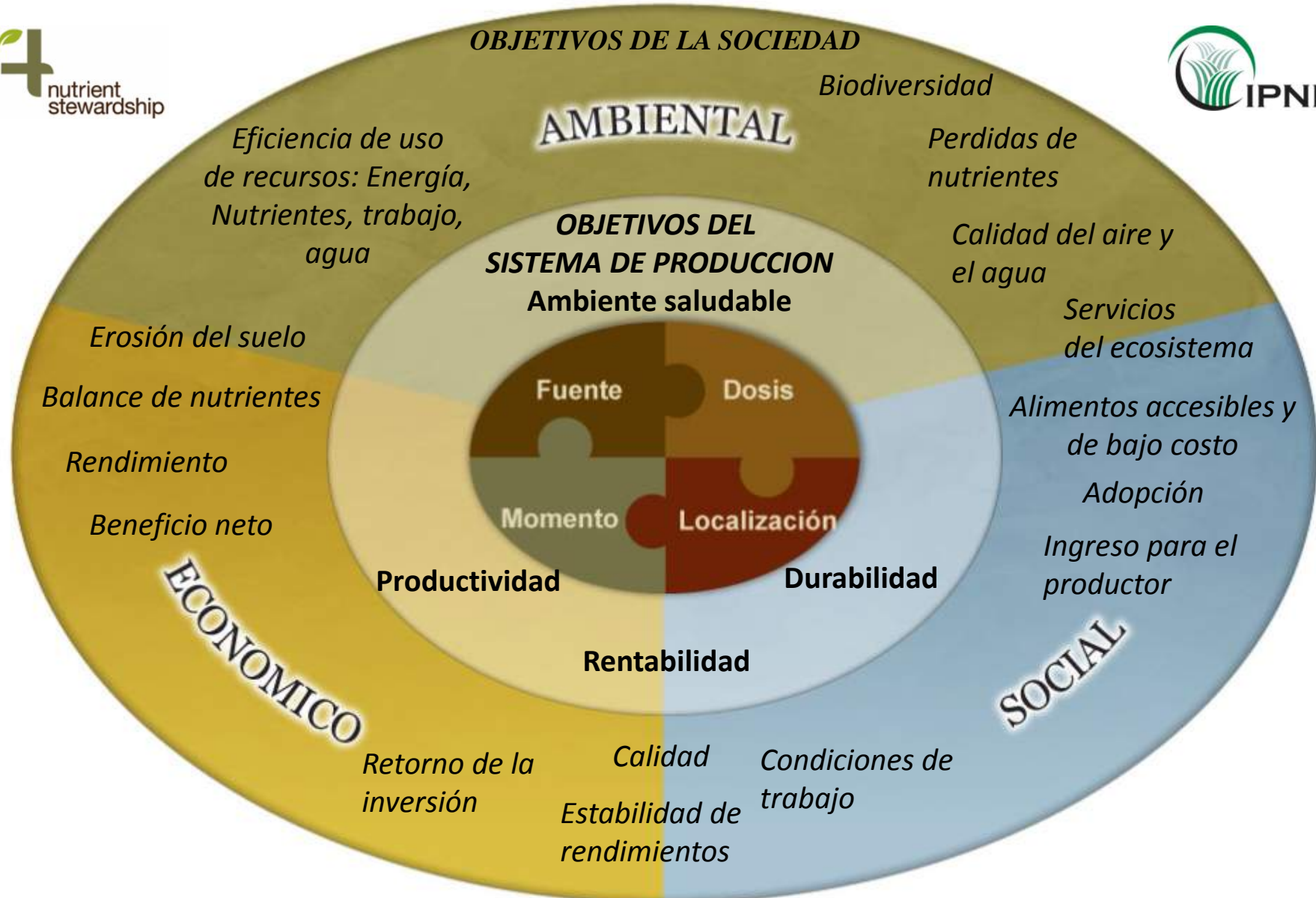
- *Los principios científicos son globales y aplicables al nivel práctico de manejo en el campo*
- *Su aplicación depende del sistema específico de cultivo que se encuentre bajo consideración*

Ejemplos de principios científicos y opciones prácticas

	Fuente	Dosis	Momento	Lugar
Ejemplos de Principios Científicos Claves	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Asegurar una oferta balanceada de nutrientes ◆ Adaptarse a las propiedades del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Evaluar la oferta de nutrientes de todas las fuentes ◆ Evaluar la demanda del cultivo 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Evaluar las dinámicas de toma por el cultivo y de abastecimiento por el suelo ◆ Determinar momentos de riesgo de pérdidas 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Reconocer los patrones de distribución de raíces ◆ Manejar la variabilidad espacial
Ejemplos de Opciones Prácticas	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Fertilizante comercial ◆ Abono animal ◆ Composta ◆ Residuos de cultivos 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Analizar los nutrientes del suelo ◆ Realizar cálculos económicos ◆ Balancear la remoción del cultivo 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Previo a la siembra ◆ A la siembra ◆ En floración ◆ En fructificación 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Al voleo ◆ En bandas superficiales, bandas incorporadas, inyectado ◆ Aplicación en dosis variable



Los 4 Requisitos del Manejo Responsable de Nutrientes (4Rs)



Fuente Correcta a la Dosis Correcta, en el Momento Correcto, y de la Forma Correcta

Video 2

La Dosis Correcta



El Manejo Responsable 4R de los Nutrientes La Dosis Correcta

Fernando O. García

**Instituto Internacional de Nutrición de
Plantas (IPNI) - Cono Sur**

<http://lacs.ipni.net/>



Toma de decisiones en el manejo de nutrientes



Posibles factores de sitio

- Cultivo
- Suelo
- Productor
- Aplic. Nutrientes
- Calidad de agua
- Clima
- Tecnología

Aposyos para la toma de decisión

Demanda cultivo
Abastecimiento suelo
Eficiencia aplicación
Aspectos económicos
Ambiente
Productor/Propietario

Dosis, Fuente, Momento y Forma de aplicación
Probabilidad de ocurrencia
Retorno económico
Impacto ambiental
Etc.

Salida

Decisión

Acción

Resultado

Retroalimentación

Fixen, 2005

Principios científicos para la Dosis Correcta

- Considerar fuente, momento y forma de aplicación.
- Evaluar la demanda de nutrientes de la planta.
- Usar métodos adecuados para evaluar la oferta de nutrientes del suelo.
- Evaluar todas las fuentes de nutrientes disponibles.
- Predecir la eficiencia de uso del fertilizante.
- Considerar los impactos sobre el recurso suelo.
- Considerar aspectos económicos para elección de la dosis específica.



Requerimientos Nutricionales de los Cultivos

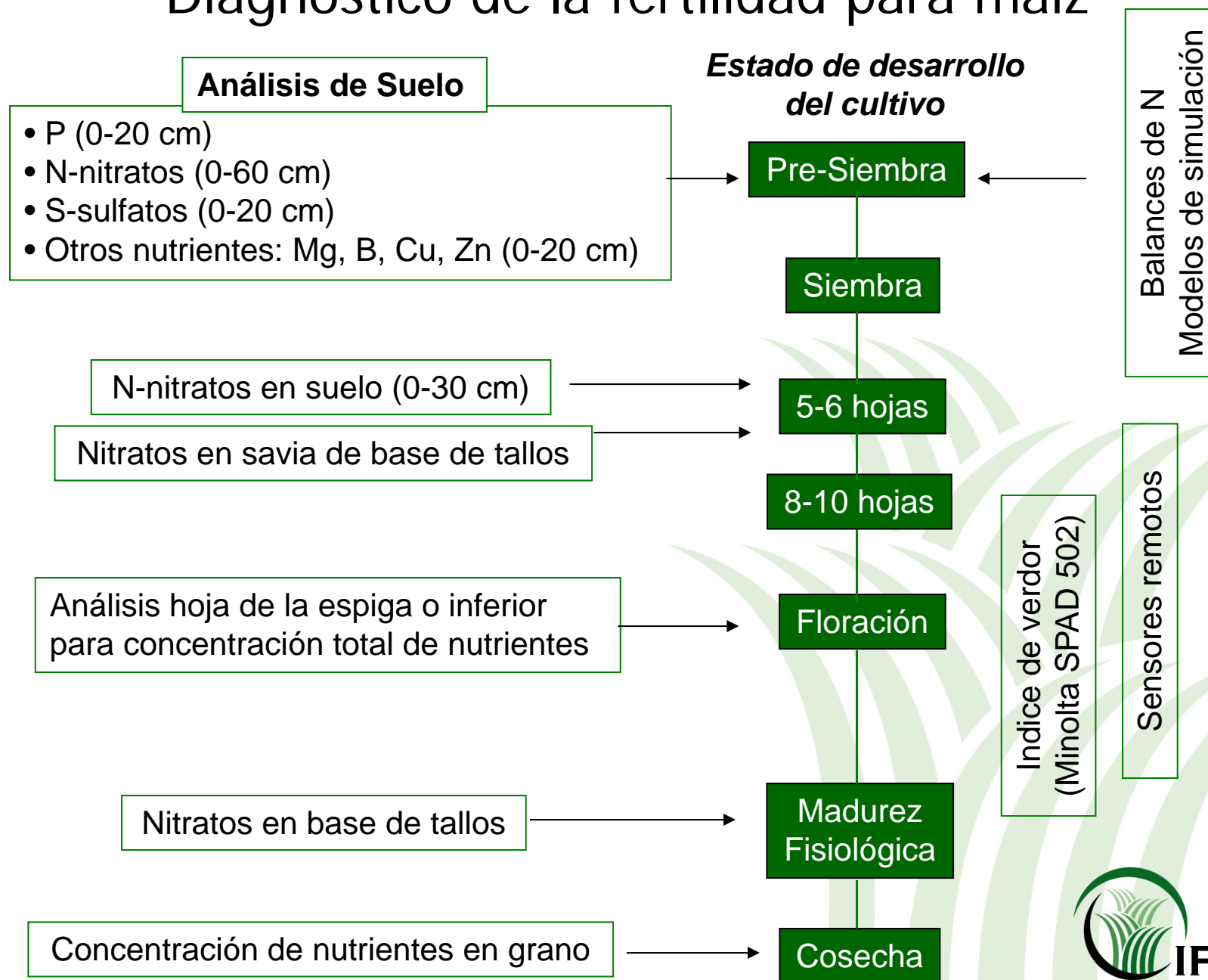
Absorción y extracción por tonelada de órgano cosechado
(base seca)

Cultivos	Absorción Total (kg/ton)						Extracción (kg/ton)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
Soja	66	6	35	14	8	4	49	5.4	17	2.7	3.1	2.8
Maíz	22	4	19	3	3	4	15	3	4	0.2	2	1
Trigo	30	5	19	3	4	5	21	4	4	0.4	3	2
Girasol	40	11	29	18	11	5	24	7	6	1.5	3	2
Sorgo	30	4	21	-	4	4	20	4	4	-	1	2

Fuente: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>



Diagnóstico de la fertilidad para maíz

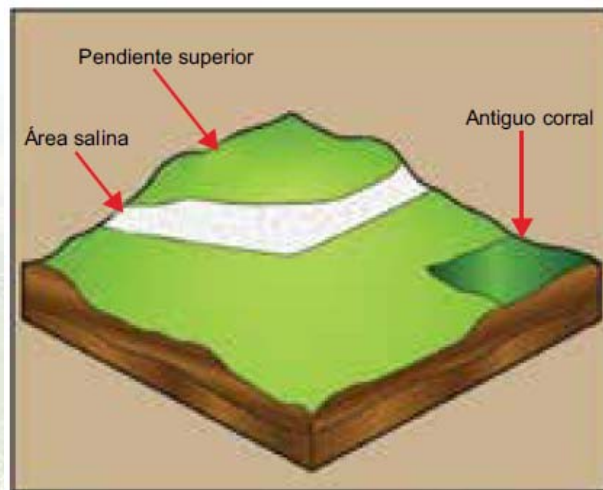


Objetivos del análisis de suelo con fines de diagnostico

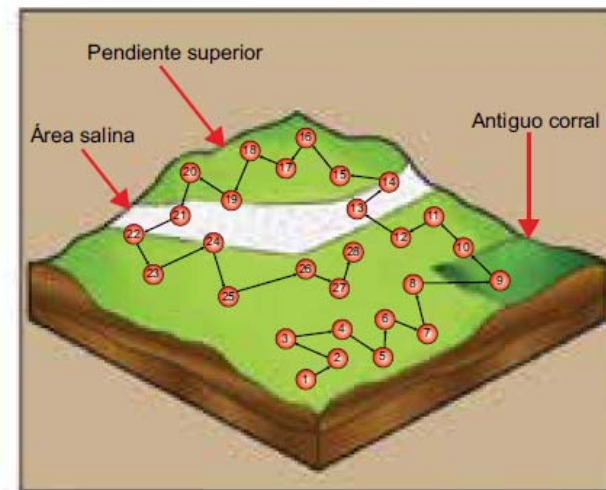


- *Proveer un índice de disponibilidad de nutrientes en el suelo*
- *Predecir la probabilidad de respuesta a la fertilización o encalado*
- *Proveer la base para el desarrollo de recomendaciones de fertilización*
- *Contribuir a la protección ambiental mejorando la eficiencia de uso de los nutrientes y disminuyendo la huella (“footprint”) de la agricultura sobre el medio ambiente*

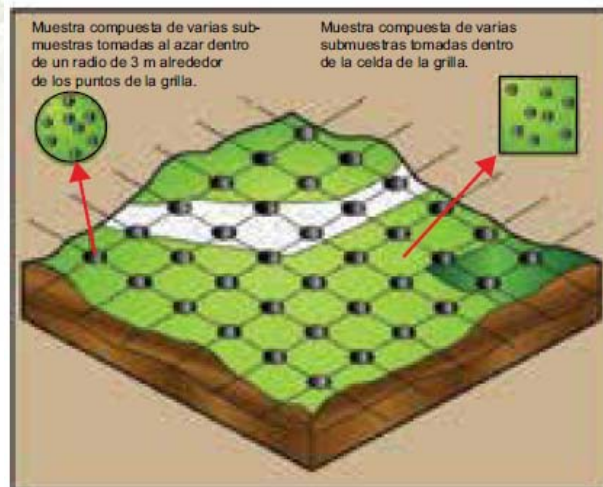
Diferentes aproximaciones al muestreo de suelos



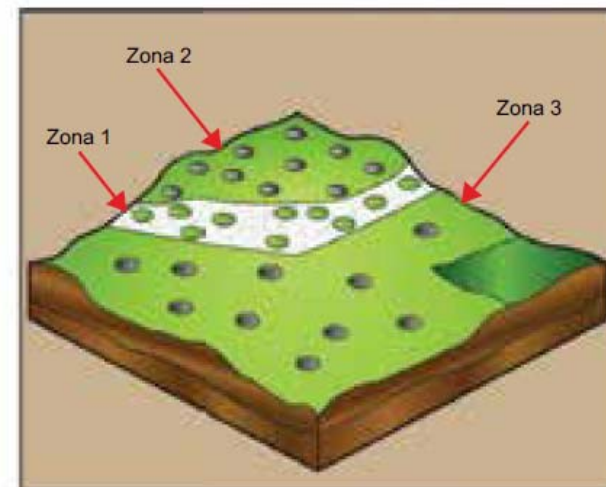
Lote a muestrear



Muestreo aleatorio



Muestreo en grilla



Muestreo por zona de manejo

Factores que afectan la disponibilidad del nutriente	N	P	K	S	Ca y Mg	Micros
pH	X	X	X	X	X	X
Humedad	X	X	X	X	X	X
Temperatura	X	X	X	X	X	X
Aireación	X	X	X	X	X	X
Materia orgánica	X	X		X	X	X
Cantidad de arcilla	X	X	X	X	X	X
Tipo de arcilla		X	X		X	X
Residuos de cultivos	X	X	X	X	X	X
Compactación del suelo		X	X			
Nivel de nutriente en el suelo		X	X		X	
Otros nutrientes		X	X		X	X
Tipo de cultivo	X	X		X		X
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)			X		X	X
% Saturación de CIC					X	



Maíz: Alternativas para la recomendación de fertilización nitrogenada en la Región Pampeana Argentina

Planteo de balances de N

Disponibilidad de N-nitratos (0-60 cm)
150-170 kg/ha para 1000-11000 kg/ha de rendimiento

Índices de mineralización de N (N_0 o N anaeróbico, MO particulada)

Disponibilidad de N-nitratos (0-30 cm) al estado V5-6
> 18-20 mg/kg para 10000-12000 kg/ha de rendimiento

Nitratos en jugo de base de tallos al estado V5-6
> 2000 mg/L para 11000 kg/ha de rendimiento

Sensores remotos

Concentración de N en hoja inferior a la espiga en floración > 2.7%

Concentración de N en grano > 1.4%

Considerar los impactos sobre el recurso suelo

Las dosis de aplicación deben optimizar el crecimiento del cultivo:

- Aportar mas C al suelo a través de los residuos de los cultivos
- Aumentar el contenido de C del suelo
- Mejorar la estructura del suelo
- Mejorar la capacidad de almacenamiento de agua y de nutrientes
- Mantener optimo niveles de análisis de suelos (P y K)

La dosis correcta debe asegurar buena rentabilidad

- Para nutrientes móviles (N, S, etc.), se prefiere la dosis optima económica (DOE) por sobre la dosis optima agronómica
- Para nutrientes de menor movilidad, La aplicación mayor a la DOE puede tener beneficios en el largo plazo
- Mantener la fertilidad del suelo en niveles óptimos da mayor flexibilidad en el momento y dosis de aplicación
- Riesgos: rentabilidad, impacto ambiental, balances con dosis correcta

4R
PLANT
NUTRITION



Video 3

El Momento Correcto



El Manejo Responsable 4R de los Nutrientes El Momento Correcto

Fernando O. García

Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI) - Cono Sur

<http://lacs.ipni.net/>



Principios científicos para el Momento Correcto

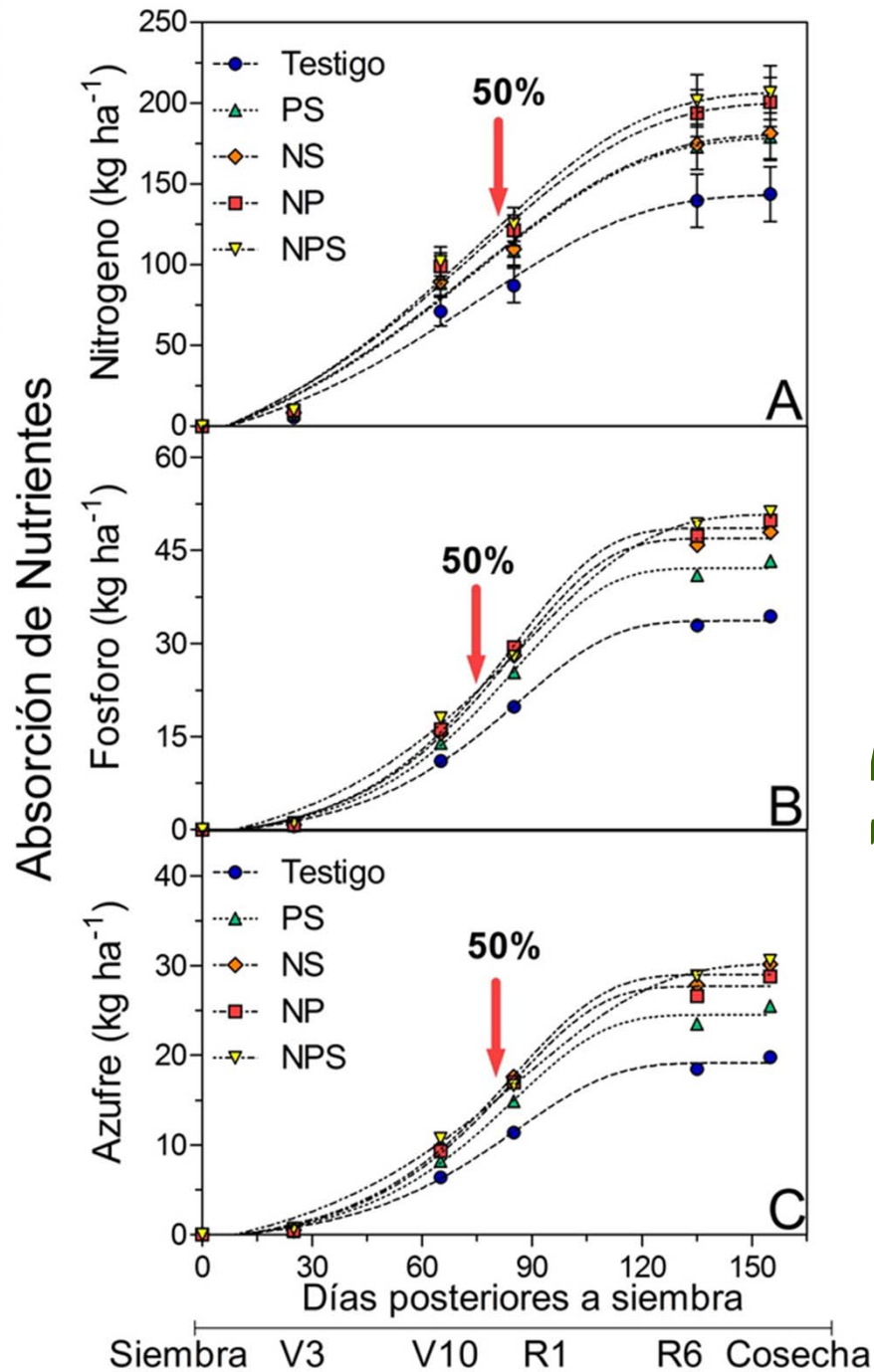
- Considerar la fuente, dosis y lugar de aplicación.
- Evaluar el momento de la toma de nutrientes por la planta.
- Evaluar las dinámicas del suministro de nutrientes del suelo.
- Reconocer la dinámica de las pérdidas de nutrientes del suelo.
- Evaluar la logística de las operaciones en el campo.



Absorción de nitrógeno, fósforo y azufre en maíz

La flecha indica la absorción del 50% de cada nutriente

Fuente: Ciampitti et al. – Red de Nutrición CREA Sur de Santa Fe. Promedios de cuatro sitios, 2006/07





Evaluar las dinámicas del suministro de nutrientes del suelo

- Mineralización – inmovilización
 - *Importante para N: N liberado o inmovilizado por el residuo del cultivo predecesor*
- Adsorción - desorción
- Fijación – liberación
 - *Dos procesos importantes para nutrientes como el P*

Dinámica de las pérdidas de nutrientes del suelo

- Reconocer mecanismos de perdidas de los nutrientes
- N por lavado, desnitrificación, volatilización
- P por escurrimiento
- Impacto ambiental de las perdidas de N y P
- Uso de fertilizantes de eficiencia mejorada, como fertilizantes de liberación lenta o controlada, o inhibidores de la nitrificación o de la ureasa



Logística de las operaciones en el campo

- Las decisiones del momento de aplicación deben ser practicas
- La logística de la siembra y el momento de aplicación de nutrientes depende del tamaño de la explotación
- Las aplicaciones anticipadas, cuando son factibles, pueden ahorrar un tiempo valiosos durante la estación de crecimiento
- El P y K, por su dinámica, se prestan a la aplicación anticipada, pero se deben tomar precauciones con la anticipación de la aplicación de N

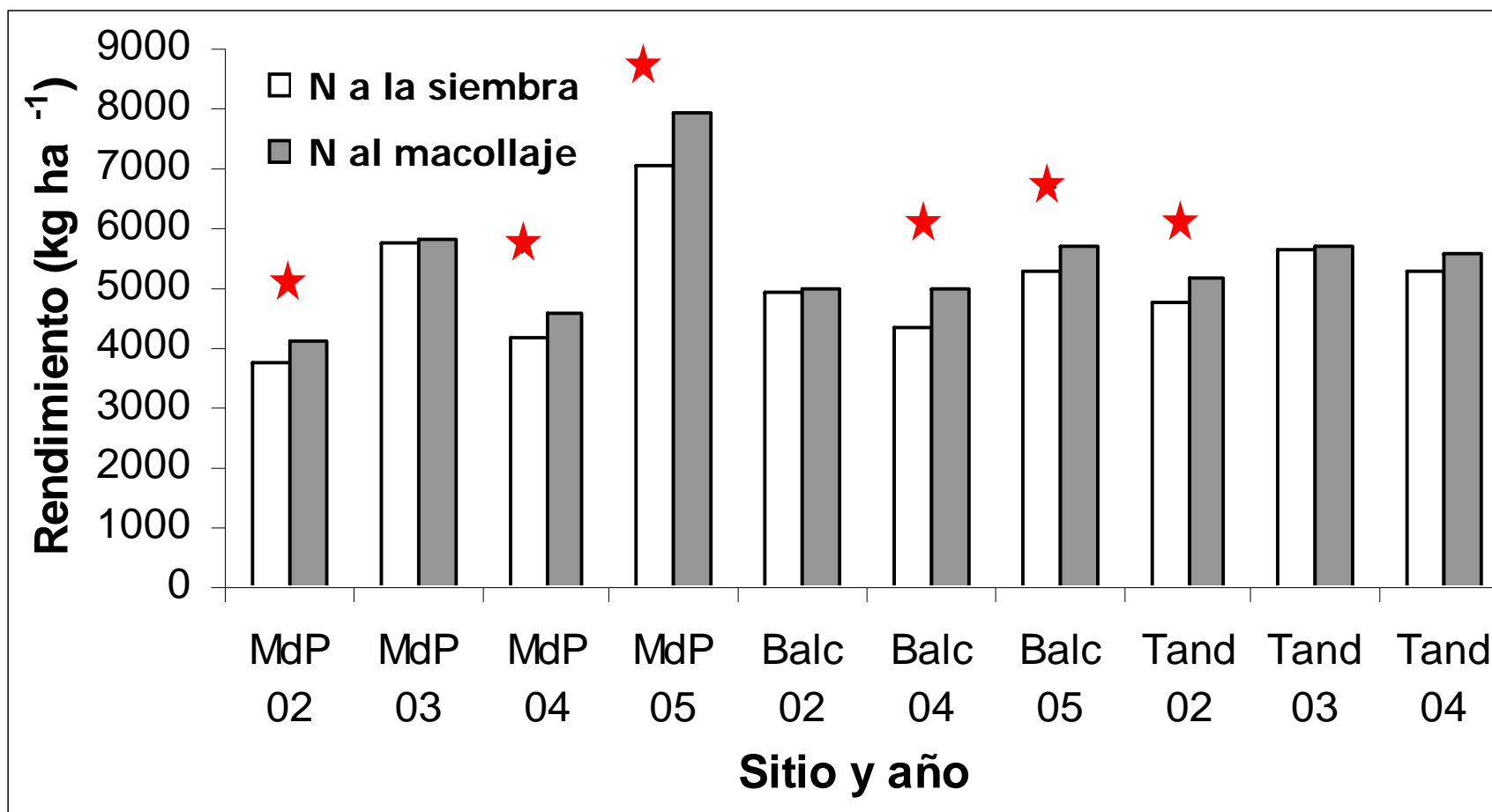


Momento de aplicación de N en trigo

EEA INTA-FCA Balcarce – Barbieri et al. (2008)

Campañas 2002/03 a 2005/06

Diferencias en 6 de 10 sitios a favor del macollaje

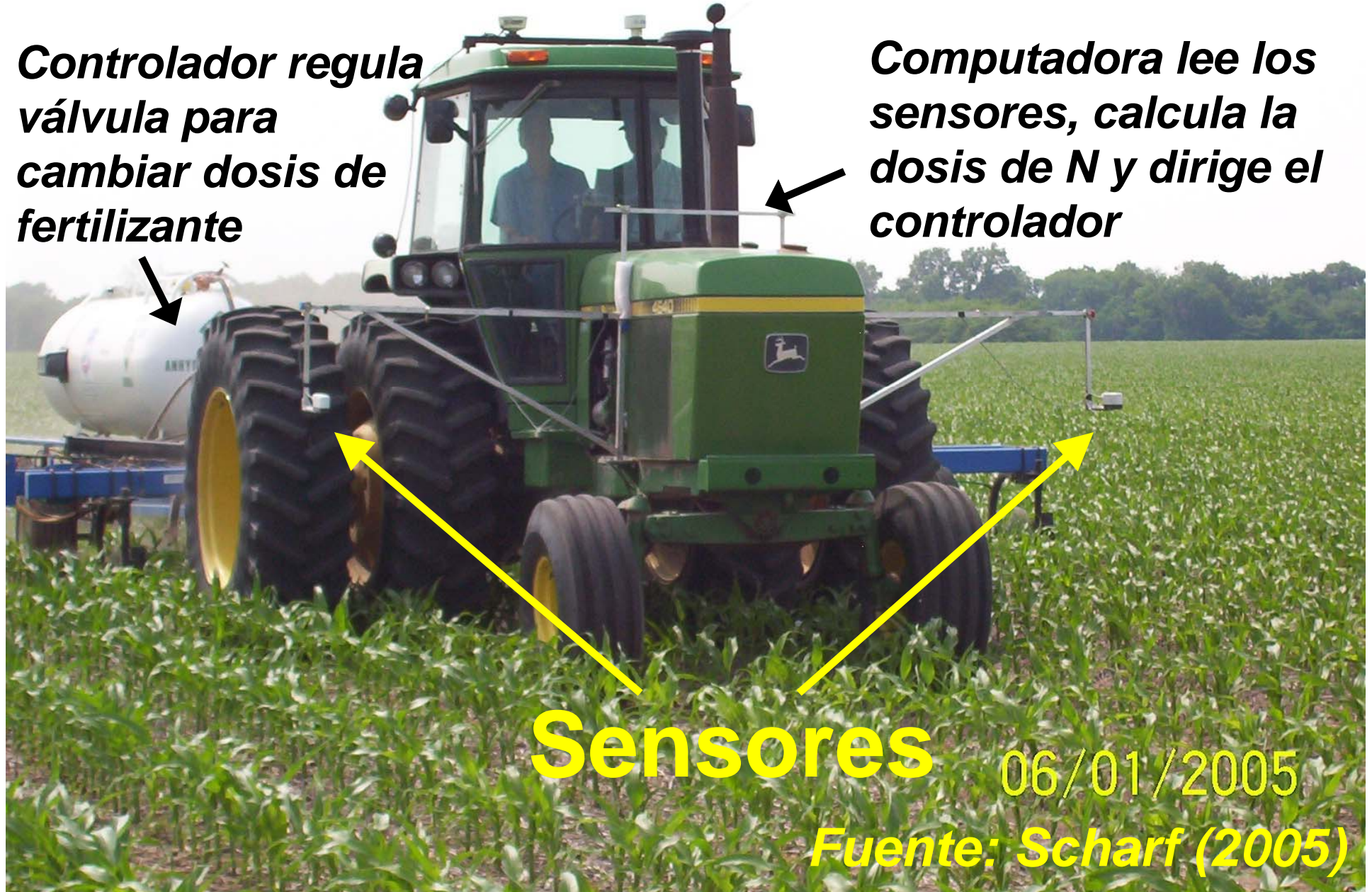


★ *Indica diferencias de la aplicación al macollaje sobre la de siembra*

Aplicación variable de N según sensores de “color” del maíz

Controlador regula válvula para cambiar dosis de fertilizante

Computadora lee los sensores, calcula la dosis de N y dirige el controlador



Sensores

06/01/2005

Fuente: Scharf (2005)

Video 4

La Fuente y Forma Correctas



El Manejo Responsable 4R de los Nutrientes La Fuente y el Lugar Correctos

Fernando O. García

Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI) - Cono Sur

<http://lacs.ipni.net/>



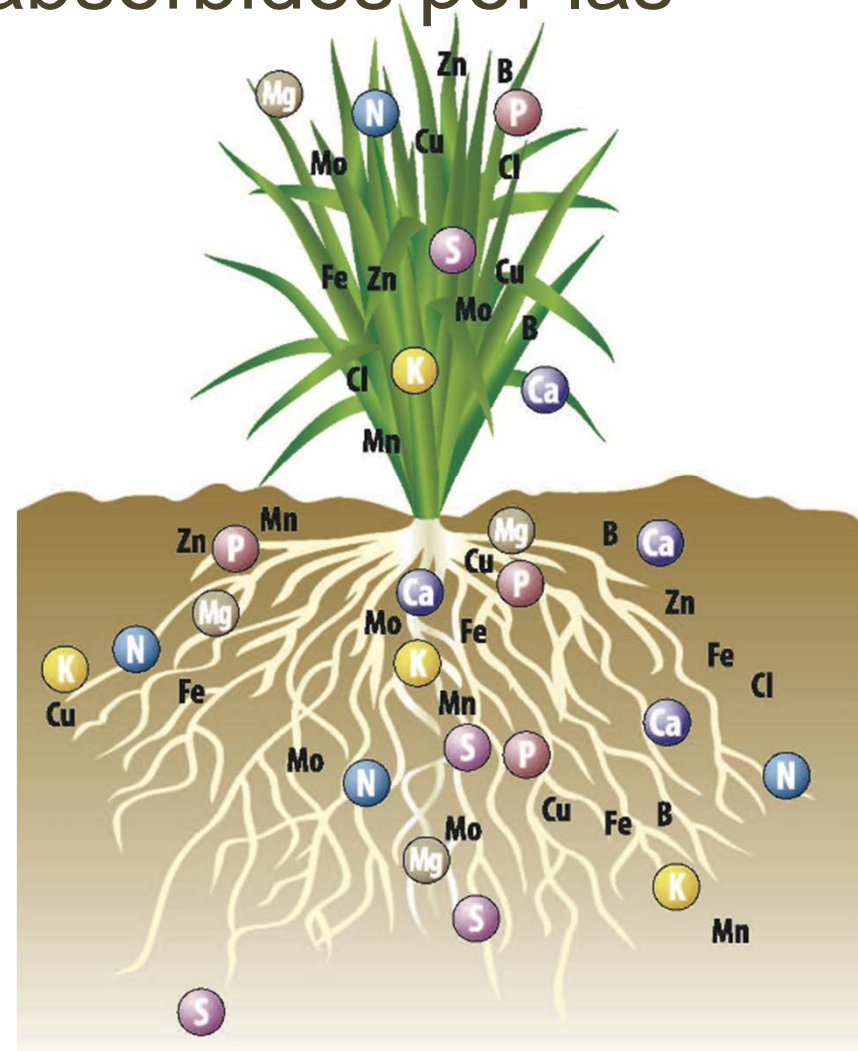
Principios científicos para la Fuente Correcta

- Considerar dosis, momento, y forma de aplicación.
- Abastecer los nutrientes en formas disponibles para las plantas.
- Ajustar a las propiedades físico-químicas del suelo.
- Reconocer sinergismos entre nutrientes y fuentes.
- Reconocer la compatibilidad de mezclas.
- Reconocer los beneficios y sensibilidades a elementos asociados.
- Controlar los efectos de los elementos no nutritivos.



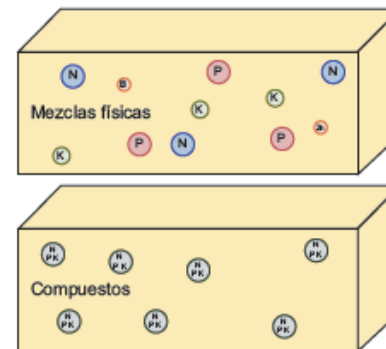
Los nutrientes deben estar en formas disponibles para ser absorbidos por las plantas

- Los nutrientes son absorbidos por las raíces cuando están disueltos en agua
- Los nutrientes insolubles no son inmediatamente útiles para la nutrición de las plantas

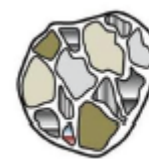


Existen numerosas fuentes y formas de fertilizantes y abonos orgánicos

- Fertilizantes simples
- Fertilizantes compuestos
- Mezclas físicas
- Fertilizantes fluidos: Soluciones, suspensiones
- Fertilizantes de eficiencia mejorada
- Estiércol
- Efluentes
- Composts
- Barros cloacales
- Residuos



Mezclas físicas y Fertilizantes compuestos



Tipos de Fertilizantes compuestos



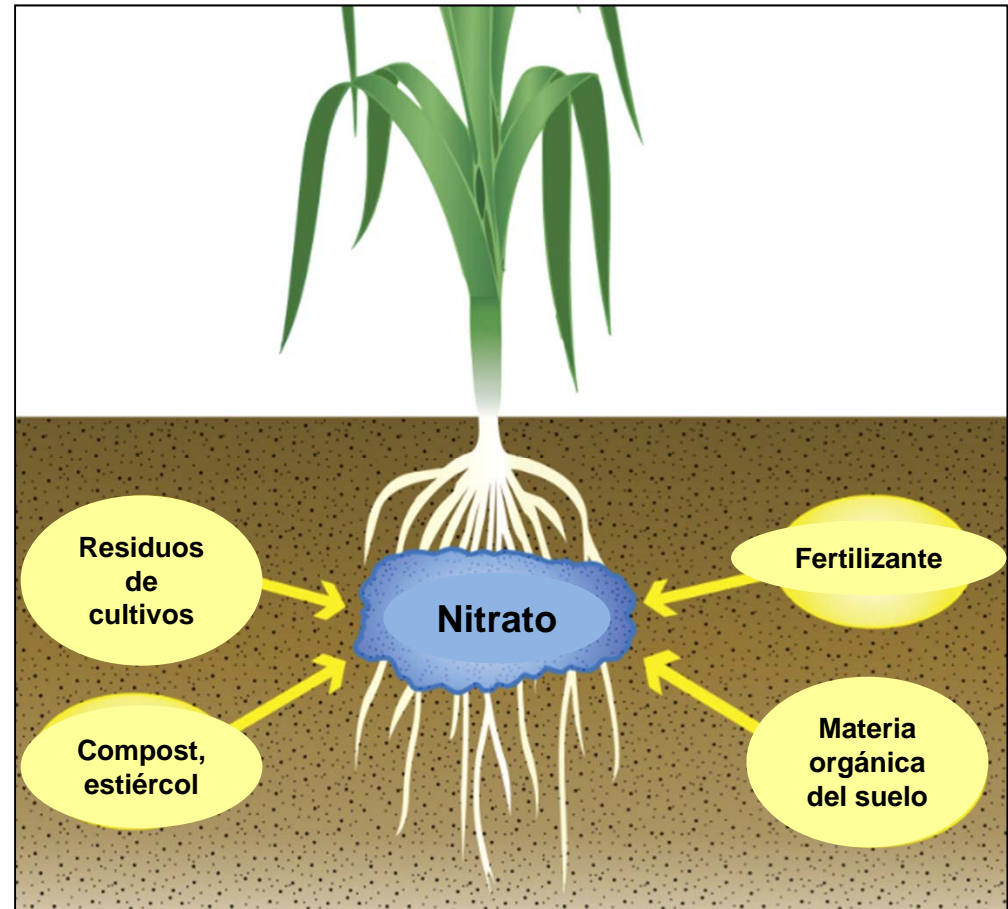
Cachaza de industria del azúcar



Fertilizantes fluidos

Una vez en la planta, la fuente del nutriente ya no es importante

- Las raíces absorben principalmente nutrientes inorgánicos
- La fuente del nutriente no es un factor de importancia para la nutrición de la planta
- Por ejemplo, el nitrato es igual provenga de un fertilizante, de estiércol o de la materia orgánica del suelo



No hay una única “fuente correcta” para cada condición de suelo y cultivo

- Cada cultivo, suelo y productor tiene diferentes necesidades y objetivos... por ejemplo:

Productor:

- ¿Disponibilidad de fertilizantes?
- ¿Precio de fertilizantes?
- ¿Equipo de aplicación?
- ¿Preocupación por el ambiente?

Suelos y cultivos:

- ¿Perdidas de amoníaco de urea aplicada superficialmente?
- ¿Perdidas gaseosas de nitratos en suelos húmedos?
- ¿Escurrecimiento de P con aplicaciones superficiales?





Inhibidores de la ureasa

Maíz de primera en Rafaela (Santa Fe)

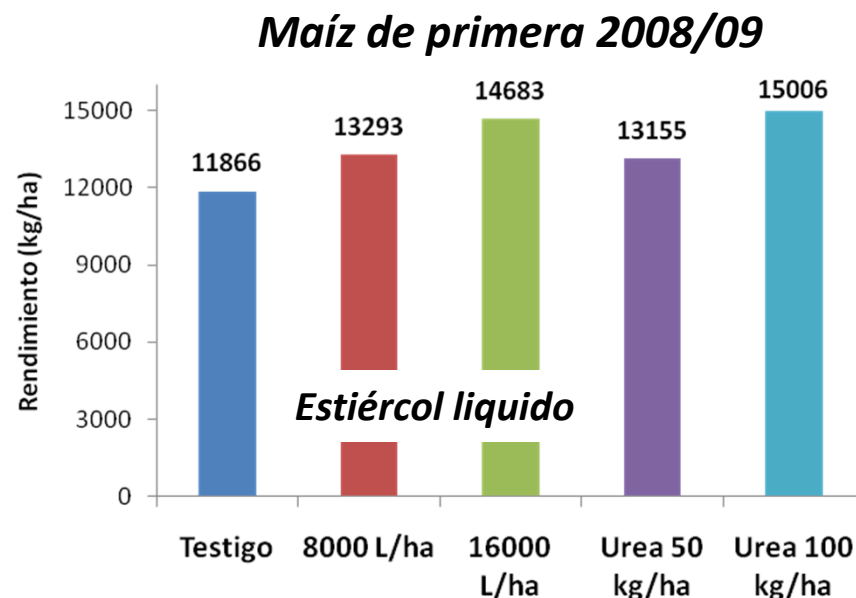
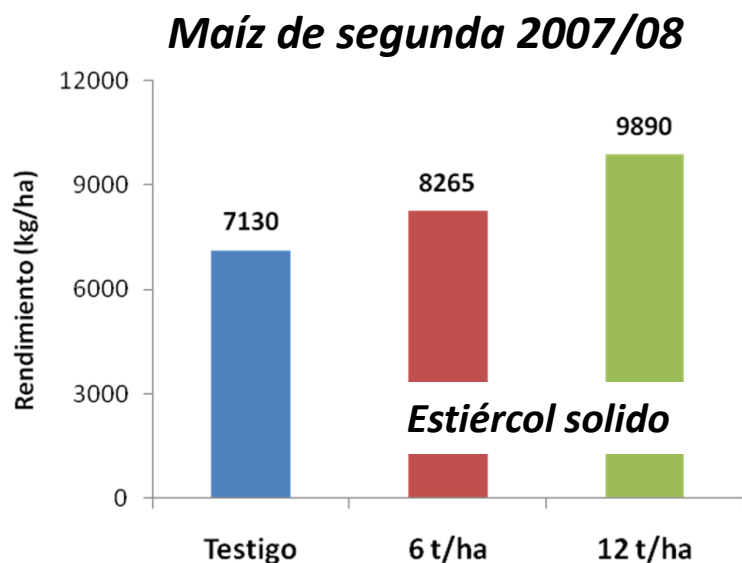
Fontanetto, Bianchini y col., 2007/08

Tratamiento	Perdidas N-NH ₃	Rendimiento	Eficiencia agronómica
	%	kg/ha	kg maíz/kg N
Testigo	-	7334	-
Urea 70N	10	8381	15
Urea 140N	25	9623	16
Urea 70N + NBTPT	4	9166	26
Urea 140N + NBTPT	6	10368	22

Los inhibidores de ureasa como el NBTPT demoran la transformación de urea en amonio y, por ende, la volatilización de amoniaco

Experiencias con el uso de efluentes de tambo en la región central de Santa Fe

Fontanetto y col. (2010)- EEA INTA Rafaela (Santa Fe)



Efecto en propiedades del suelo – Tambo en Humboldt (2009), aplicación de 72000 L/ha de efluentes

Tratamiento	MO	N total	P Bray
	%	%	ppm
Sin efluentes	2.27	0.11	11
Con efluentes	2.94	0.15	34

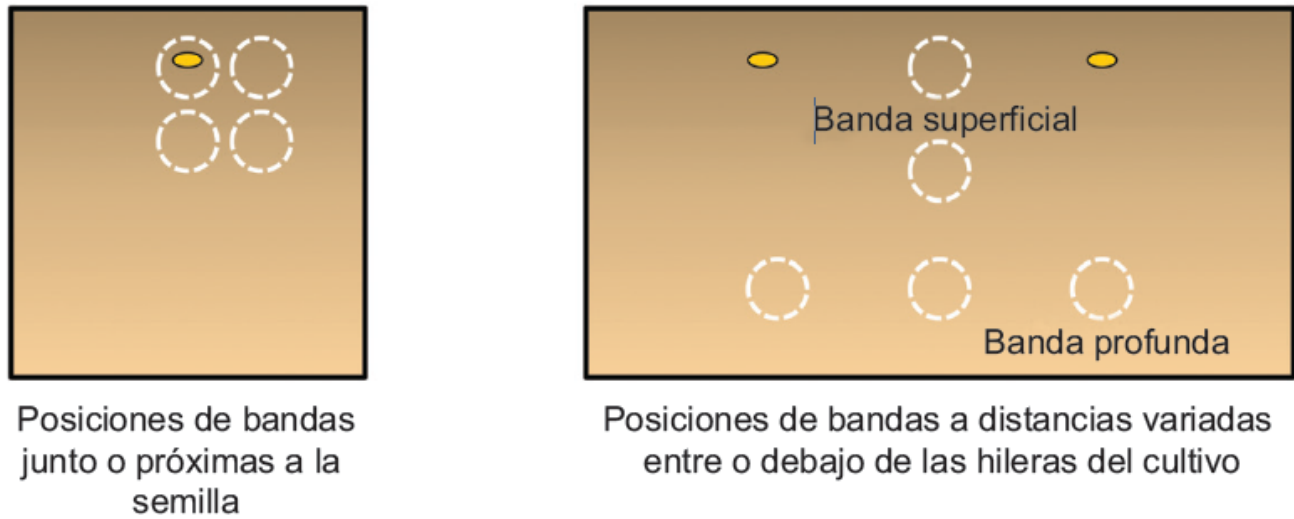
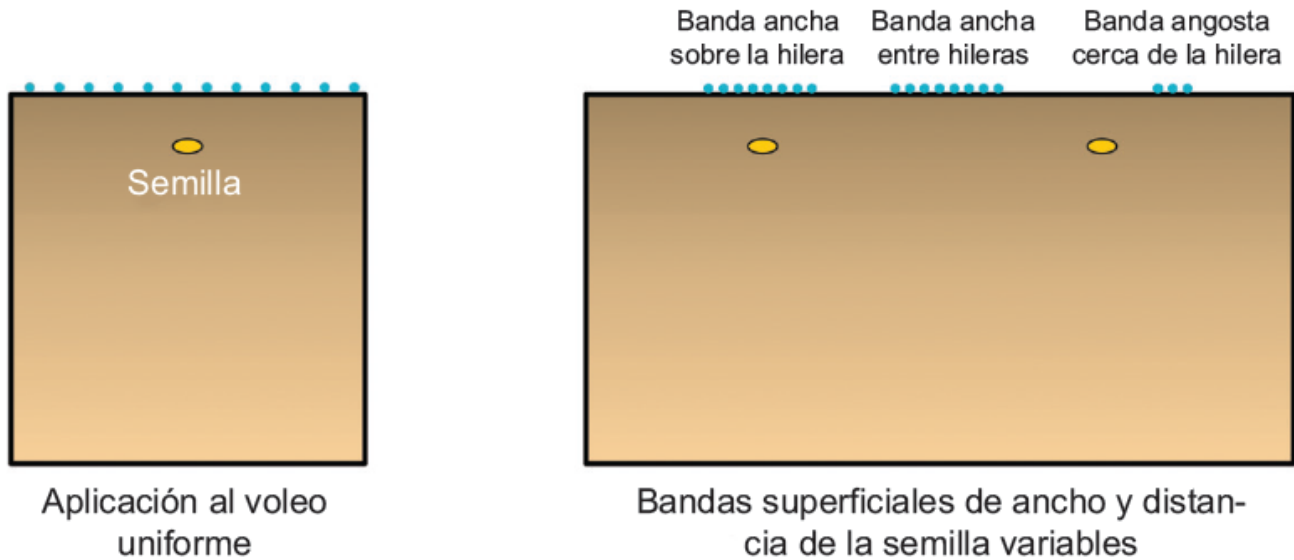
Composición de efluente de sala de ordeño 10.4% MS, 0.14 g/L N y 0.01 g/L P

Principios Científicos para el Lugar Correcto

- Considerar la fuente, la dosis, y el momento de aplicación
- Considerar dónde están creciendo las raíces de las plantas.
- Considerar las reacciones químicas del suelo.
- Ajustarse a los objetivos del sistema de labranza.
- Manejar la variabilidad espacial.



Opciones de colocación de nutrientes



La aplicación localizada

- Reduce las posibilidades de retención/fijación del nutriente
- Acelera la tasa de difusión
- Contribuye al crecimiento temprano del cultivo
- Puede generar efectos fitotóxicos en semillas o plántulas

La aplicación al voleo

- Maximiza las posibilidades de retención/fijación del nutriente
- Contribuye a mejora la fertilidad de todo el volumen de suelo
- Reduce efectos fitotóxicos en semillas o plántulas

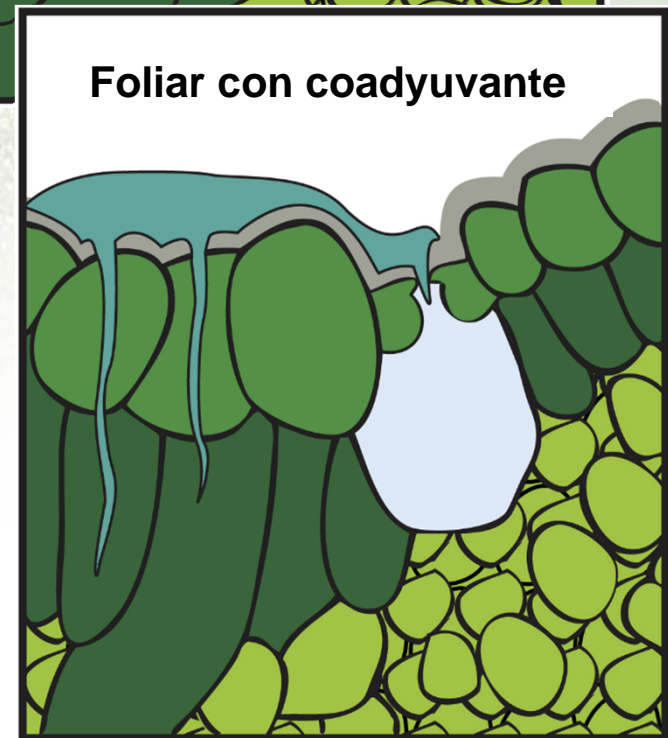
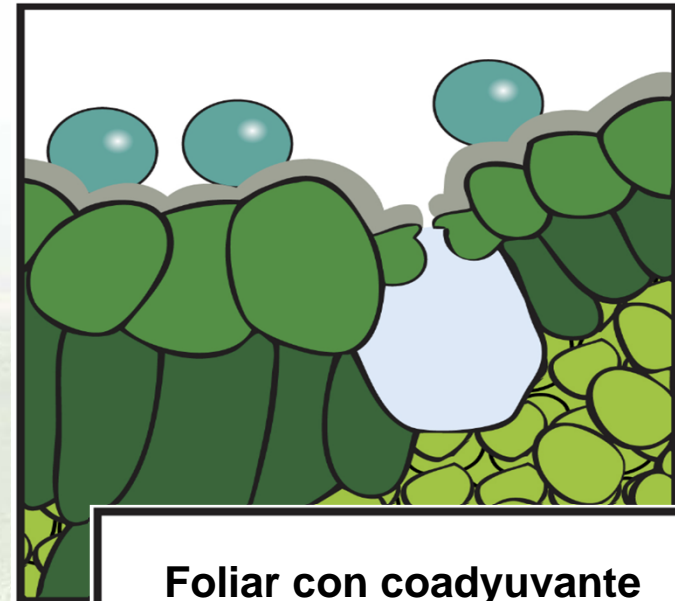


Efectos de distintos fertilizantes junto a la semilla

- No deberíamos aplicar fertilizantes con la semilla para no afectar al inoculante
- Para la semilla, los efectos fitotóxicos dependen de:
 - ❖ Fertilizante
 - ❖ Dosis
 - ❖ Distancia entre hileras
 - ❖ Tipo de suelo
 - ❖ Contenido de humedad del suelo

Fertilización foliar

- Los nutrientes en el estado gaseoso entran en las hojas a través de los estomas
- Los nutrientes en solución entran en las hojas a través de pequeños poros en la epidermis de la hoja de la planta
- La fertilización foliar crea pequeños suministros localizados de nutrientes que tienen una corta duración
- Eficaz cuando los suministros del suelo son limitados



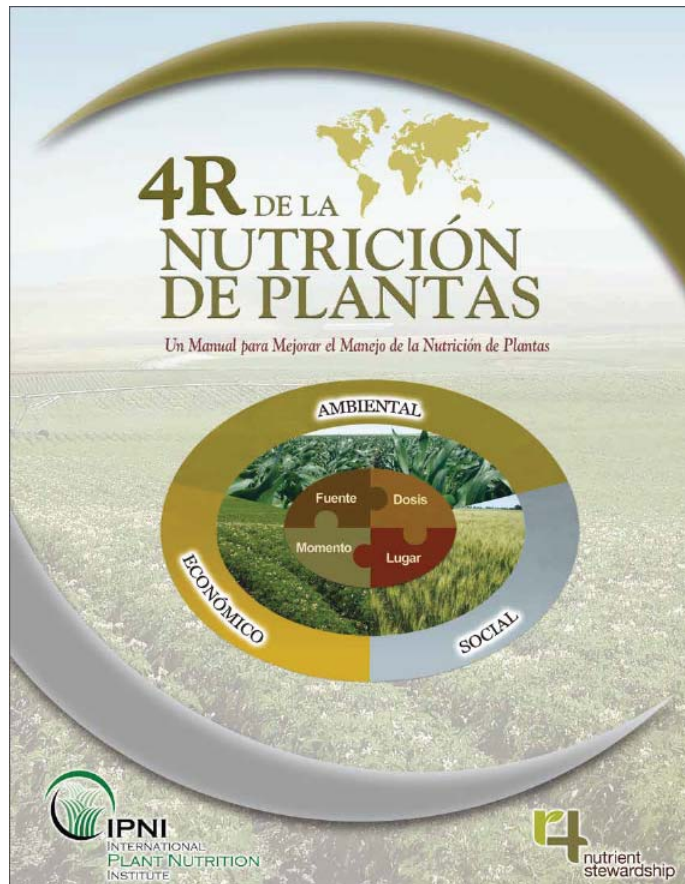
Limitaciones de la fertilización foliar

Factores que limitan la efectividad:

- Daño por fitotoxicidad
- Dosis de nutrientes limitadas
- Plantas con capas cuticulares gruesas
- Escurrimiento del fertilizantes de las hojas
- Lavado del fertilizante por la lluvia
- Secado del fertilizante liquido sobre las hojas
- Translocación limitada de algunos nutrientes en la planta



Nueva publicación de IPNI



Bajo el concepto de los 4 Requisitos (R) - *aplicar la **fuentes** correcta de nutrientes, en la **dosis**, el **momento** y la **localización** correctos-*, el **Manual 4R de la Nutrición de Plantas**, se propone como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones referidas al manejo de la nutrición de los cultivos y la fertilidad de los suelos.

Más información en <http://lacs.ipni.net/>