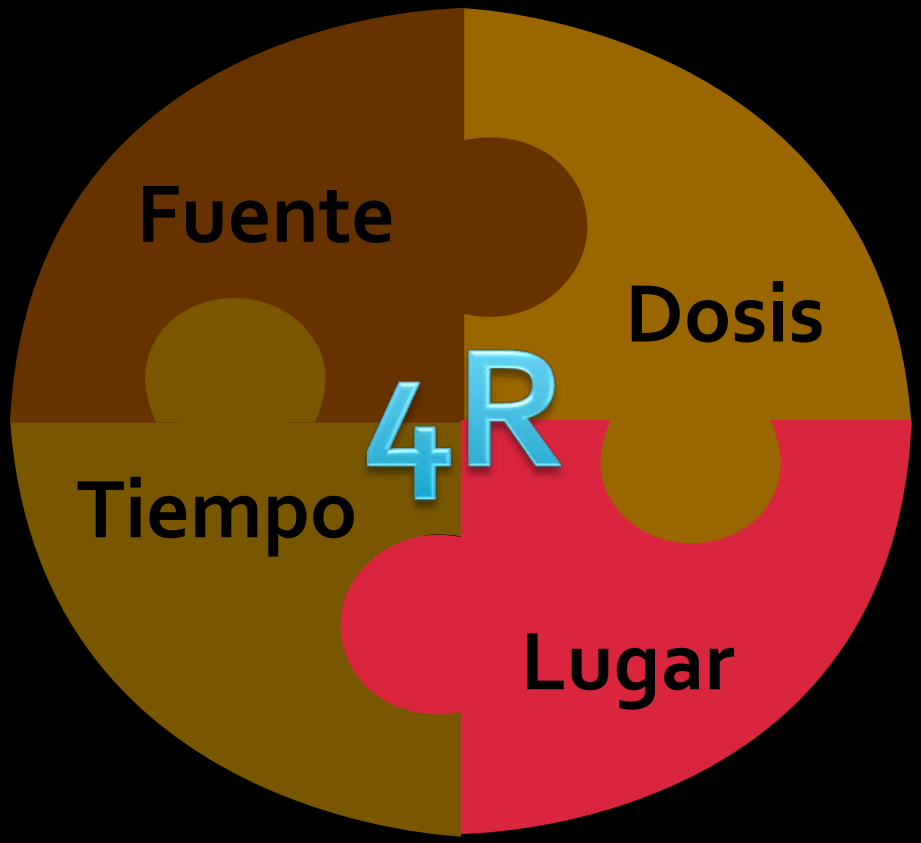


Los 4 Requisitos para una Nutrición Vegetal Adecuada

Armando Tasistro – International Plant Nutrition Institute (IPNI)
atasistro@ipni.net

Componente natural

- suelos
- agro-biodiversidad

Componente humano

- enseñanza
- salud
- nutrición

Componente financiero

- ingreso

Componente físico

- infraestructura

Componente social

- organizaciones locales
- participación

#2

- Fertilidad del suelo
  - ¿Qué es?
  - Componentes
    - Químicos
      - Nutrimentos
      - MO
      - Elementos tóxicos
    - Físicos
      - Agua
      - Compactación
    - Biológicos

Variabilidad

Temporal

- ✓Calor
- ✓Agua
- ✓Residuos

Espacial

- ✓Región
- ✓Cuenca
- ✓Predio
- ✓Lote
- ✓Área de un lote

#3

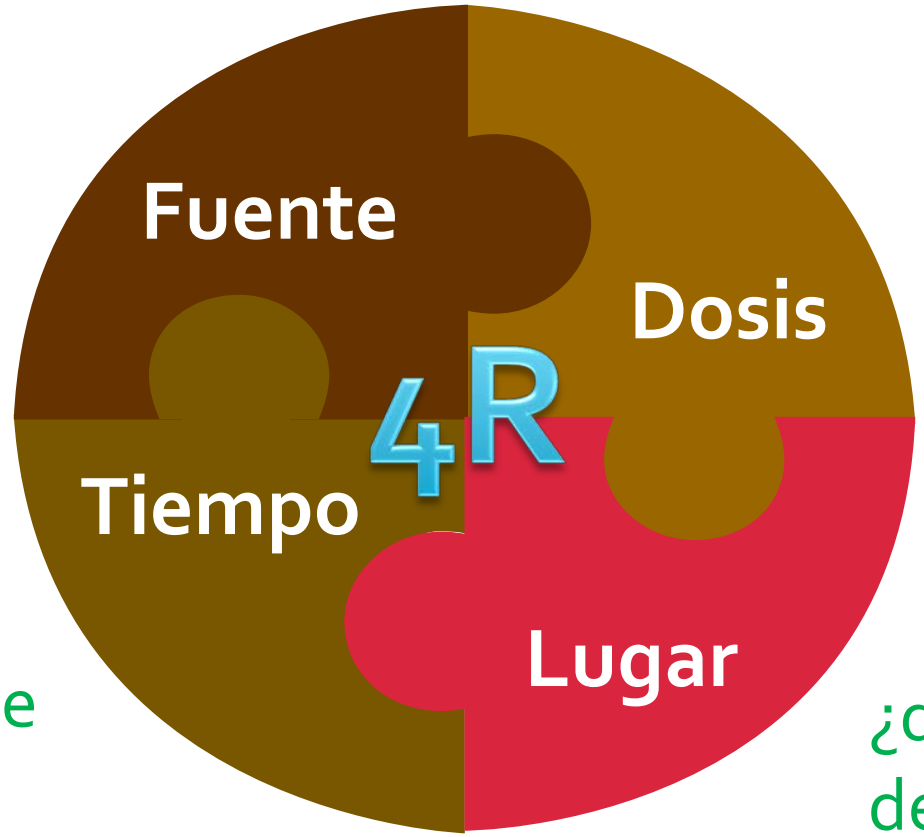
- Cultivar (potencial genético)
- Población
- Protección vegetal
  - Malezas
  - Plagas
  - Enfermedades
- Prácticas de manejo
  - Labranza
  - Rotaciones

- Agricultura de Conservación
  - Reducción en labranza
  - Mantener residuos sobre el suelo
  - Rotaciones

4 Requisitos para Nutrición Vegetal Adecuada

¿qué material vamos a usar?

¿cuánto debemos aplicar?



¿cuándo debe estar disponible el nutrimento?

¿dónde debemos aplicar el material?

Fuente

¿Qué necesitamos?

- ¿Cómo podemos saber?
  - Análisis de suelos
  - Análisis de plantas
  - Remoción de nutrientes
  - Experimentos

- Nutrimentos pueden estar disponibles
  - Inmediatamente
  - Gradualmente

Fijación de N

- Cantidades fijadas dependen de
  - Cepas de bacterias
  - Huésped
    - Mayor fijación en forrajeras vs. granos
  - Condiciones ambientales
    - Disponibilidad de P
    - Micorrizas

Fijación de N

Aproximadamente 33% disponible para el siguiente cultivo

Leguminosa	N fijado (kg/ha)	Leguminosa	N fijado (kg/ha)
Alfalfa (Medicago sativa)	160-260	Veza, ebo (Vicia spp.)	50-150
Trébol blanco (Trifolium repens)	100-220	Chícharo (Pisum spp.)	5-250
Trébol dulce (Melilotus spp.)	119	Soya (Glycine max)	50-150
Trébol rojo (Trifolium pratense)	114	Cacahuate (Arachis spp.)	30-200
Kudzú (Pueraria spp.)	107	Frijol (Phaseolus spp.)	30-50
		Caupí (Vigna spp.)	90

N, P, K en estiércoles

Tipo de animal	Sistema de manejo	Materia seca (%)	N		P_2O_5	K_2O	N disponible /P_2O_5
			Disponible	Total			
			(kg/ton)				
Suino	Sin cama	18	3	5	4.5	4	0.67
	Con cama	18	2.5	4	3.5	3.5	0.71
Vacuno (carne)	Sin cama	15	2	5.5	3.5	5	0.57
	Con cama	50	4	10.5	9	13	0.44
Vacuno (leche)	Sin cama	18	2	4.5	2	5	1.0
	Con cama	21	2.5	4.5	2	5	1.25
Aves	Sin cama	45	13	16.5	23	17	0.57
	Con cama	75	18	28	22.5	17	0.80

- ¿Cuánto estiércol de ave (sin cama) se aplicaría para aportar 100 kg N?
  - 1 t = 13 kg N, ⇨ 100 kg N = 7.7 t

⇩

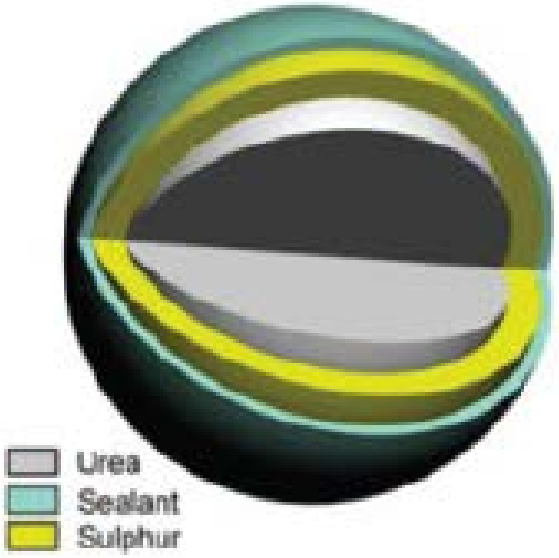
177 kg P_2O_5

N, P, y K en residuos

Cultivo	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)	N/P_2O_5
Arroz	0.61	0.18	1.38	3.4
Trigo	0.48	0.16	1.18	3.0
Maíz	0.52	0.18	1.35	2.9
Sorgo	0.52	0.23	1.34	2.3
Cebada	0.52	0.18	1.30	2.9
Caña de azúcar	0.40	0.40	1.28	1.0
Papa	0.52	0.21	1.06	2.5

Liberación lenta / liberación controlada

- Fertilizante recubierto con polímero o azufre para controlar la disolución y liberación de nutrientes
- Baja solubilidad
- Resistencia a descomposición microbiana

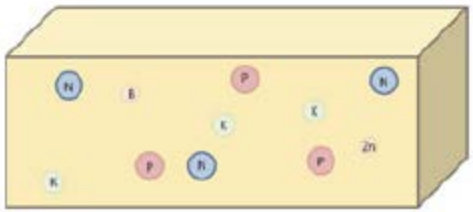


Inhibidores biológicos y químicos

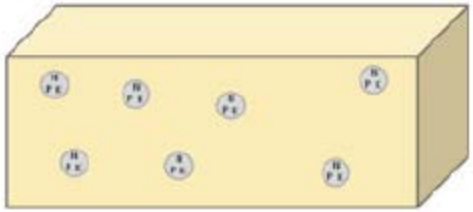
- Nitrificación
  - $NH_4^+ \Rightarrow NO_3^-$
- Ureasa
  - Urea $\Rightarrow NH_4^+$

Formas de los fertilizantes

- Mezclas físicas
  - Combinación de fertilizantes granulados
  - Compatibilidad
    - Higroscopicidad
  - Vigilar que no haya separación de los componentes



- Fertilizantes compuestos
  - Mezcla de nutrimentos en las partículas del fertilizante



Fertilizantes líquidos

- Soluciones
  - Permiten mezcla de varios nutrimentos en un líquido homogéneo y claro
  - Aplicables
    - Suelo
    - Agua de riego (fertigación)
    - Foliar
  - Posibilitan la aplicación de otros productos (e.g. sanidad vegetal)
- Suspensiones
  - Partículas de fertilizante en suspensión
  - Apropiados para materiales con baja solubilidad en agua
  - Permiten mayores concentraciones
  - Requieren agitación y boquillas de orificios más grandes

Fluid Fertilizer Foundation

Solutions for AGRICULTURE

FluidFertilizer.com

Caution: This chart contains information based on the opinions of people in the fluid fertilizer industry. This information has been compiled as a general guide only. Neither the Fluid Fertilizer Foundation or contributors guarantee the accuracy of the information. Please refer to manufacturer/supplier product information and also perform a small jar compatibility test prior to final mixing.

- 'Compatible', results in generally acceptable mixture.
- 'Limited Compatibility', generally compatible within solubility limits.
- Very Limited Compatibility', generally unsuitable mixtures.
- 'Incompatible', unsuitable mixture and/or hazardous combination.
- △ Significant heat generated.

Fluid Fertilizer Foundation
2805 Claflin Road, Suite 200
Manhattan, KS 66502

785-776-0273
FluidFertilizer@sbcglobal.net

3/1/09

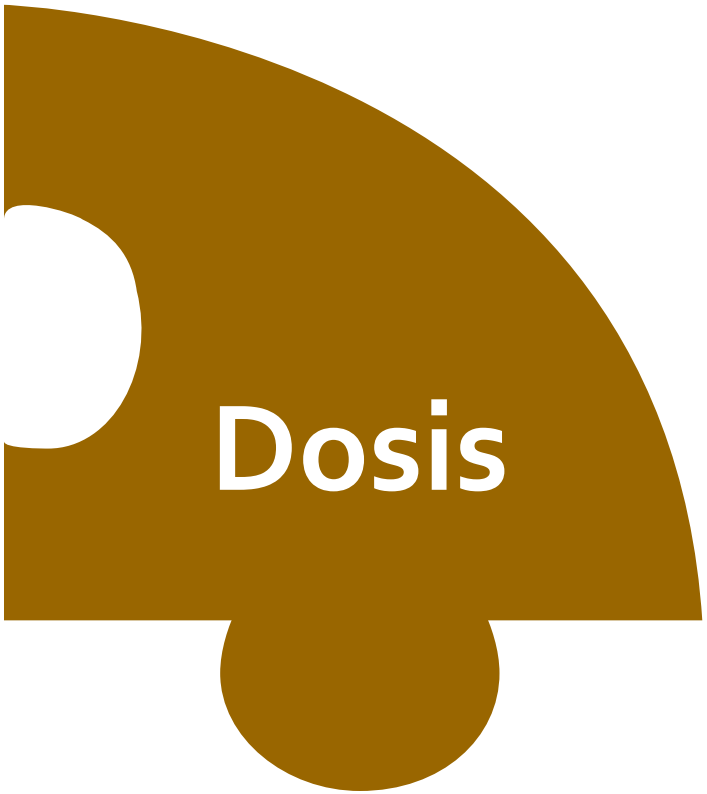
	Anhydrous Ammonia	Aqua Ammonia	Urea Solution	Ammonium Nitrate Solution	UAN Solution	Ammonium Sulfate Solution	Ammonium Polyphosphate Solution	Ammonium Chloride Solution	Ammonium Thiosulfate	Potassium Thiosulfate	Calcium Thiosulfate	Magnesium Thiosulfate	Calcium-Ammonium Nitrate Solution	Calcium Nitrate Solution	Potassium Carbonate Solution	N-pHuric 28/27	N-pHuric 15/49	N-pHuric 10/55	Water	Nitric Acid	Phosphoric Acid (white)	Phosphoric Acid (gr	Sulfuric Acid	Urea	Ammonium Nitrate	Calcium Nitrate	Potassium Chloride	Potassium Nitrate	Magnesium Nitrate	Technical Grade MAP	Monopotassium Phosphate	PeKacid
Anhydrous Ammonia ; 82-0-0																																
Aqua Ammonia; 20-0-0	△																															
Urea Solution; 23-0-0	△																															
Ammonium Nitrate Solution; 20-0-0	△																															
Urea Ammonium Nitrate Solution; UAN 28/32-0-0	△																															
Ammonium Sulfate Solution; 8-0-0-9S	△	△																														
Ammonium Polyphosphate Solution; 10-34-0	△	△																														
Ammonium Chloride Solution; 6-0-0-16Cl	△																															
Ammonium Thiosulfate Solution; ATS, 12-0-0-26S	△																															
Potassium Thiosulfate Solution; KTS, 0-0-25-17S																																
Calcium Thiosulfate; CaTS, 6%Ca 10%S								?																								
Magnesium Thiosulfate; MgTS, 10%S 4%Mg								?																								
Calcium-Ammonium Nitrate Solution; 17-0-0 8.8Ca																																
Calcium Nitrate Solution; 8-0-0-11Ca								?																								
Potassium Carbonate Solution; 0-0-32								?																								
N-pHuric 28/27; 28-0-0-9S		△																														
N-pHuric 15/49; 15-0-0-16S		△																														
N-pHuric 10/55; 10-0-0-18S		△																														
Water	△																															
Nitric Acid	△	△	△	△		△	△												△													
Phosphoric Acid (white)	△	△	△			△	△							△					△													
Phosphoric Acid (green)	△	△	△			△	△							△					△													
Sulfuric Acid	△	△	△			△	△												△													
Urea; 46-0-0																				△	△	△	△									
Ammonium Nitrate; 34-0-0																								Dry								
Calcium Nitrate; 15.5-0-0-19Ca																								Dry	Dry							
Potassium Chloride; 0-0-62																								Dry	Dry	Dry						
Potassium Nitrate; 13-0-46								?																Dry	Dry	Dry	Dry					
Magnesium Nitrate; 10-0-0-9Mg								?																Dry	Dry	Dry	Dry	Dry				
Monoammonium Phosphate (Technical, 12-61-0)								?							?									Dry	Dry	Dry	Dry	Dry	Dry			
Monopotassium Phosphate (0-52-34)								?							?									Dry	Dry	Dry	Dry	Dry	Dry	Dry		
PeKacid (0-60-20)								?												△	△			Dry	Dry	Dry	Dry	Dry	Dry	Dry	Dry	

Efectos adicionales posibles

- Interacciones entre nutrimentos
  - $NH_4^+ \Leftrightarrow P$
  - $K \Leftrightarrow Mg$
  - $P_{suelo} \Leftrightarrow Zn$
- Considerar influencias de elementos asociados
  - Cl^- en KCl
  - Cadmio

Consideraciones adicionales

- Impacto ambiental
- Costos
- Disponibilidad
- Equipos de aplicación
- Condiciones ambientales
  - Exceso de agua en suelos
- Sistema de manejo
  - Presencia de residuos vegetales


Dosis

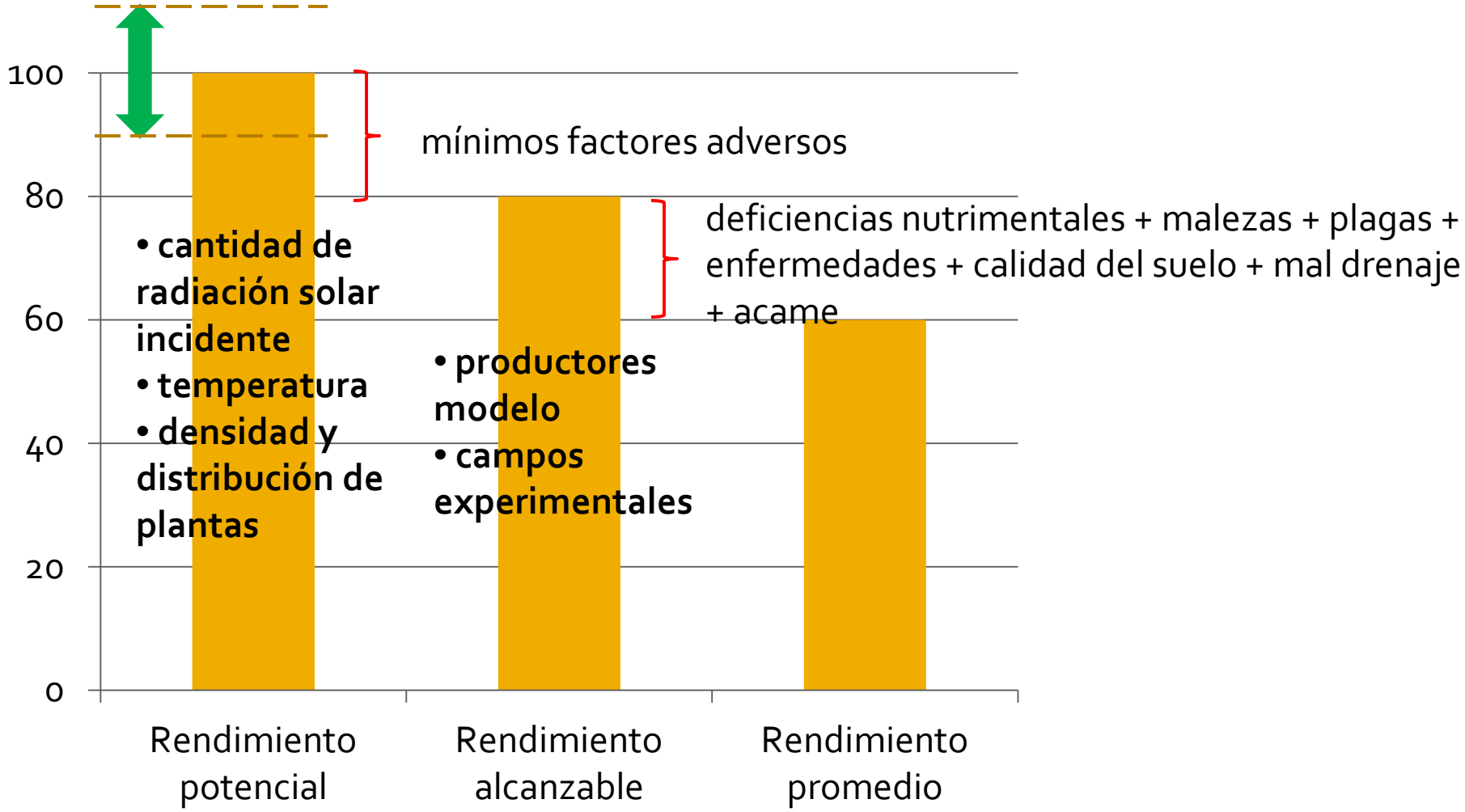
- Evaluar adecuadamente el suministro de nutrimentos por el ambiente

- ¿Qué rendimiento es posible?

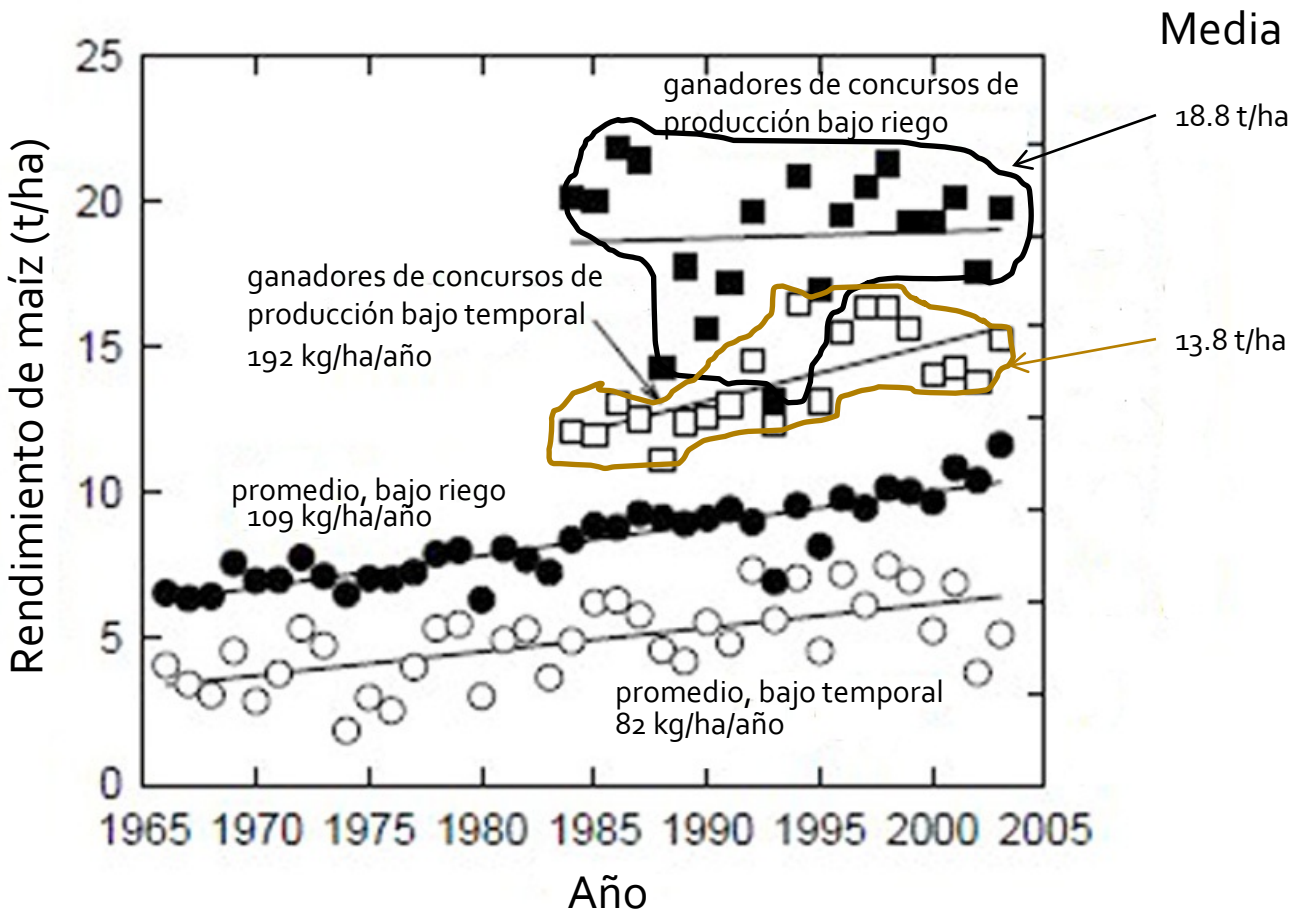
$$Cantidad\ de\ nutrimento\ a\ aplicar = \frac{(demanda\ del\ cultivo - oferta\ ambiental)}{eficiencia\ de\ uso}$$

- ¿Con qué eficiencia se usarán las fuentes de nutrimentos?

Demanda de nutrimentos
¿Meta de rendimiento?



Nebraska, EE.UU.



Yang et al., 2006

Nutrimentos extraídos

CULTIVO	N (kg/ha)	P_2O_5 (kg/ha)	K_2O (kg/ha)	Mg (kg/ha)	S (kg/ha)
Maíz (12 t/ha)	298	128	298	73	37
Soya (3.9 t/ha)	353	65	230	27	22
Algodón (1.6 t/ha)	202	71	168	39	34
Trigo (5.3 t/ha)	186	60	206	19	22
Cacahuate (4.4 t/ha)	269	44	207	28	23
Avena (3.5 t/ha)	129	45	162	22	21
Sorgo (8 t/ha)	267	94	269	45	43
Arroz (7.8 t/ha)	125	67	188	16	13
Cebada (6.4 t/ha)	202	74	202	22	27
Girasol (3.3 t/ha)	169	67	123	40	16
Canola (1.9 t/ha)	118	52	93	n.d.	24

(http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/$webindex/C341802D8B22A67D06256B5A00656E2B)

Aporte de nutrimentos por el suelo

- Mineralización/inmovilización
  - MO
- Adsorción/desorción
  - Arcillas
  - Sesquióxidos de Fe y Al
- Precipitación/disolución
  - Sales
- Reducción/oxidación
  - Contenido de agua
- Flujo de masa, difusión, e intercepción por raíces

Mineralización de N

Volumen de suelo en 1 ha, 20 cm de profundidad = 100 m x 100 m x 0.2 m = 2,000 m^3

Peso de suelo en 1 ha, 20 cm de profundidad = 2,000 m^3 x densidad aparente (□1.2 g/cm3) = 2,400 t = 2,400,000 kg

Supongamos 2% M.O. = 48,000 kg MO

Supongamos que 5% de MO es N = 2,400 kg N

Si se mineraliza 2% de ese N = 48 kg N

	kg N / ha / año
Selva tropical baja	
Desmonte reciente	55
Cultivada > 4 años	22
Sabana tropical húmeda (1,250 mm/año)	
Descanso largo	15
Descanso corto o sin descanso	5
Sabana tropical seca (850 mm/yr)	
Descanso largo	4
Descanso corto o sin descanso	2
Selva tropical alta, recientemente desmontada	18 a 45

Mineralización

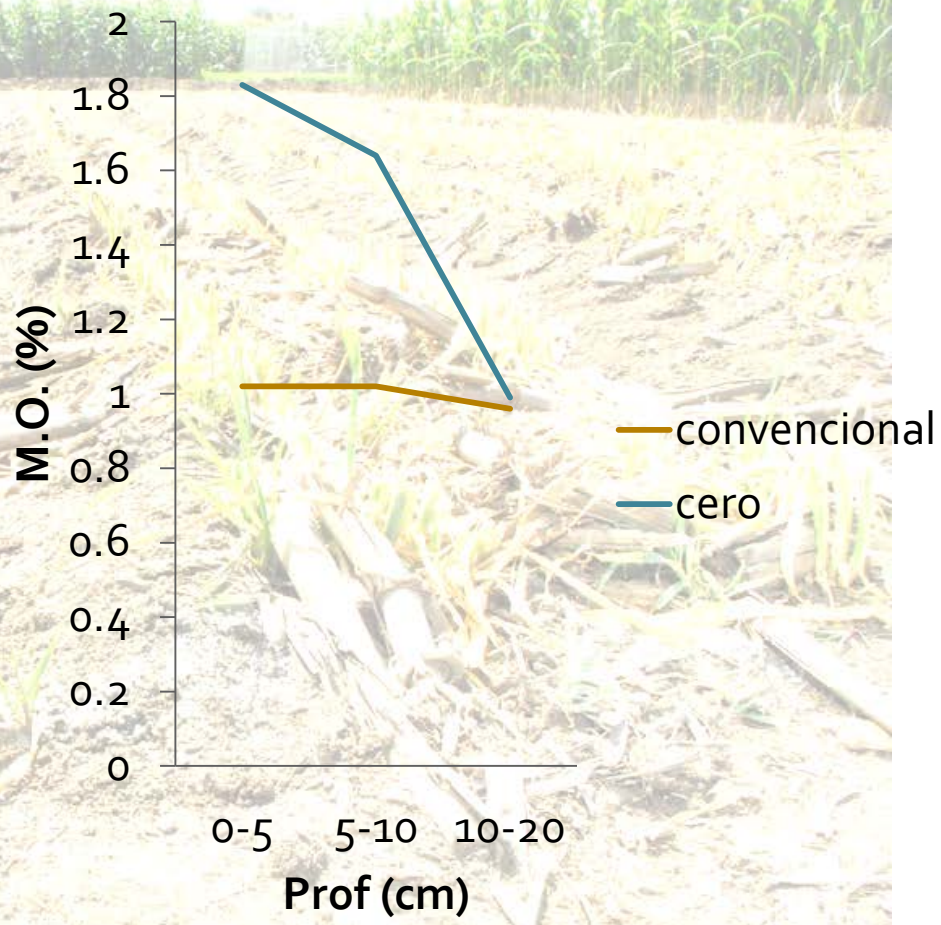
- No-labranza enlentece la mineralización, comparada con labranza convencional
  - diferencias tienden a desaparecer con el tiempo
- Cambios en los microorganismos:

  L. convencional: bacterias

  L. conservación: hongos

Cambios a largo plazo al reducir la labranza

- Acumulación de materia orgánica en los cm superiores
  - Muestreo de suelos
  - Interpretación de resultados (?)
- Proliferación de organismos
  - Lombrices y larvas que hacen túneles
- Mayor macroporosidad
- Más agua en el suelo
- Menores temperaturas

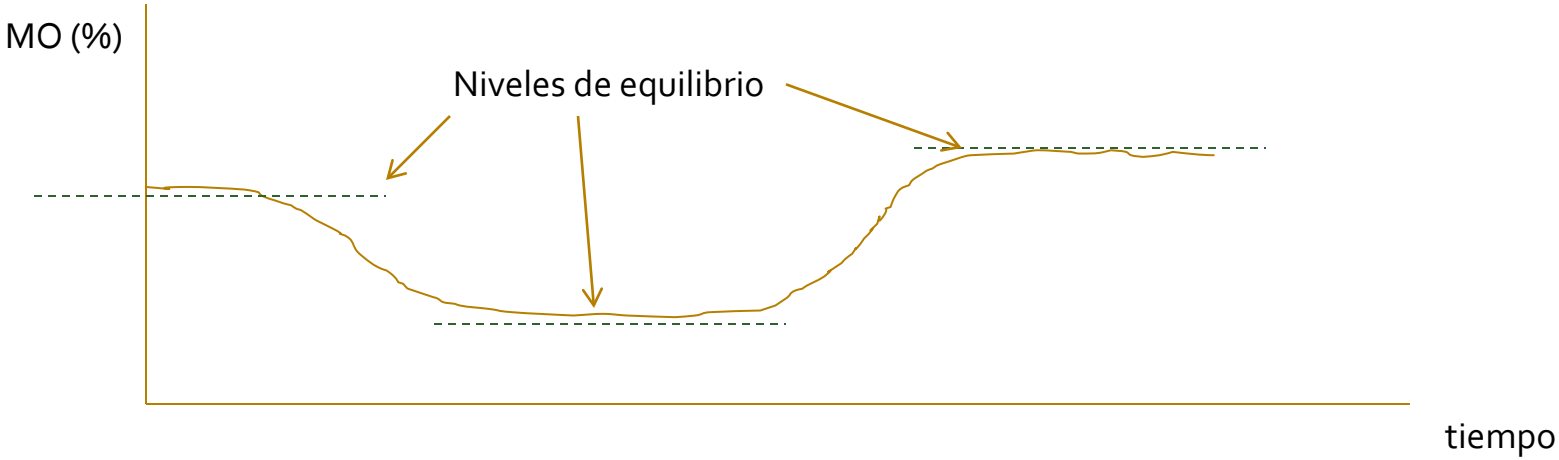


Edwards et al., 1992

Transición de labranza convencional a labranza de conservación

- Tiempo para llegar a nuevo equilibrio ?
  - ↓tasa de mineralización x ↑M.O.(%) =

    ↑mineralización neta



- ↑reciclaje de nutrimentos
- ↑micorrizas → ↑disponibilidad de N y P

Herramientas para determinar la capacidad del suelo para aportar nutrimentos

- Análisis de suelos
- Parcelas de omisión

Parcelas de omisión

- 5 nutrimentos, 4 repeticiones
  - 8 x 4 = 32 parcelas

Tratamiento	Nutrimento				
	N	P	K	S	Zn
1	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	
3	+	+	+		+
4	+	+		+	+
5	+		+	+	+
6		+	+	+	+
7					
8	Manejo de agricultores				

Eficiencia de Uso de Nutrimentos

- ¿Qué medir?
  - Producción por unidad de nutrimento absorbida
  - Nutrimento extraído por unidad de nutrimento absorbida

Índices

Producción	Recuperación
Productividad Parcial del Factor (PPF)	Balance Parcial del Nutrimento (BPN)
Eficiencia Agronómica (EA)	Eficiencia de Recuperación (ER)
Eficiencia de Uso Interna (EI)	
Eficiencia Fisiológica (EF)	

Productividad Parcial del Factor (PPF)

$$PPF = \frac{R}{F}$$

$$\frac{10{,}386 \text{ kg maíz/ha}}{300 \text{ kg N/ha}} = 35 \text{ kg maíz/kg N}$$

Celaya, 2009

- Valores publicados

Nutrimento	Kg maíz/kg de nutrimento
N	40-80
P	300-400
K	140-200

- Fácil cálculo al nivel de predio, región, o país
- Considera simultáneamente los nutrimentos aplicados y los suministrados por el ambiente

Eficiencia Agronómica (EA)

$$EA = \frac{R - R_0}{F}$$

$$\frac{(10{,}386 \text{ kg maíz/ha}) - (3{,}676 \text{ kg maíz/ha})}{300 \text{ kg N/ha}} = 22 \text{ kg maíz/kg N}$$

Celaya, 2009

- Valores publicados

Nutrimento	Kg de cereal/kg de nutrimento
N	10-30
P	30-50
K	10-20

- Se aproxima más que la PPF a la eficiencia de uso del nutrimento aplicado

Eficiencia de Uso Interna (EI)

$$EI = \frac{R}{A_T}$$

$$\frac{10{,}386 \text{ kg maíz/ha}}{245 \text{ kg N/ha}} = 42 \text{ kg maíz/kg N parte aérea}$$

Celaya, 2009

- Valores de referencia para N en cereales
  - 30-90 kg grano/kg N en parte aérea
  - 55-65 kg grano/kg N en parte aérea, óptimo para nutrición balanceada con altos rendimientos
- Refleja la eficiencia con que la planta transforma nutrientes provenientes de fertilizantes y ambiente en rendimiento económico
- Varía con genotipo, ambiente y manejo

Eficiencia Fisiológica (EF)

$$EF = \frac{R - R_0}{A_T - A_{T0}}$$

$$\frac{(10{,}386 \text{ kg maíz/ha}) - (3{,}676 \text{ kg maíz/ha})}{(245 \text{ kg N/ha}) - (55 \text{ kg N/ha})} = 35 \text{ kg maíz/kg N}$$

Celaya, 2009

- N en cereales
  - 40-60 kg grano/kg N
  - > 50 kg grano/kg N en sistemas bien manejados, con bajos niveles de uso de N o con bajo aporte de N por el ambiente
  - EF baja sugiere crecimiento subóptimo, limitado por otros factores
- Refleja la eficiencia con que la planta transforma nutrientes provenientes de fertilizantes en rendimiento económico
- Varía con genotipo, ambiente y manejo

Balance Parcial del Nutrimento (BPN)

$$BPN = \frac{A_C}{F}$$

$$\frac{146 \text{ kg N/ha}}{300 \text{ kg N/ha}} = 0.49 \text{ kg N en grano/kg N aplicado}$$

Celaya, 2009

- Cantidad de nutrimento removida en parte cosechada / Cantidad de fertilizante aplicada

- < 1:
  - cuando se busca aumentar reservas de nutrimentos en el suelo
  - baja eficiencia de uso del nutrimento
- > 1:
  - cuando se están usando reservas

Eficiencia de Recuperación (ER)

$$ER = \frac{A_T - A_{T0}}{F}$$

$$\frac{(245\ \text{kg N/ha}) - (55\ \text{kg N/ha})}{300\ \text{kg N/ha}} = 0.63\ \text{kg N en planta/kg N aplicado}$$

Celaya, 2009

- 0.30-0.50 kg/kg
- En sistemas bien manejados, con bajas tasas de aplicación de N o cuando el aporte de N por el ambiente es bajo: 0.50-0.80 kg/kg

- Depende de la sincronización entre la demanda de N por el cultivo y su liberación por parte de la fuente usada
- Afectada por
  - Métodos de aplicación (cantidad, época, colocación, forma)
  - Demanda (genotipo, clima, población, limitaciones bióticas y no bióticas)

Rangos de ER

- Ladha (2005): en 93 estudios globales en maíz, trigo, y arroz, la ER varió entre 0.2 y 0.3 en secano y entre 0.3 y 0.4 bajo riego
- Cassman et al. (2002) en Asia:

Cultivo/manejo	ER promedio
Arroz con riego (n = 179)	0.31
Arroz bajo manejo específico (n=112)	0.40
Trigo bajo condiciones climáticas adversas (n=23)	0.18
Trigo bajo condiciones climáticas favorables (n=21)	0.49

Eficiencia Agronómica

$$EA = \frac{R - R_0}{F}$$

=

Eficiencia de recuperación

X

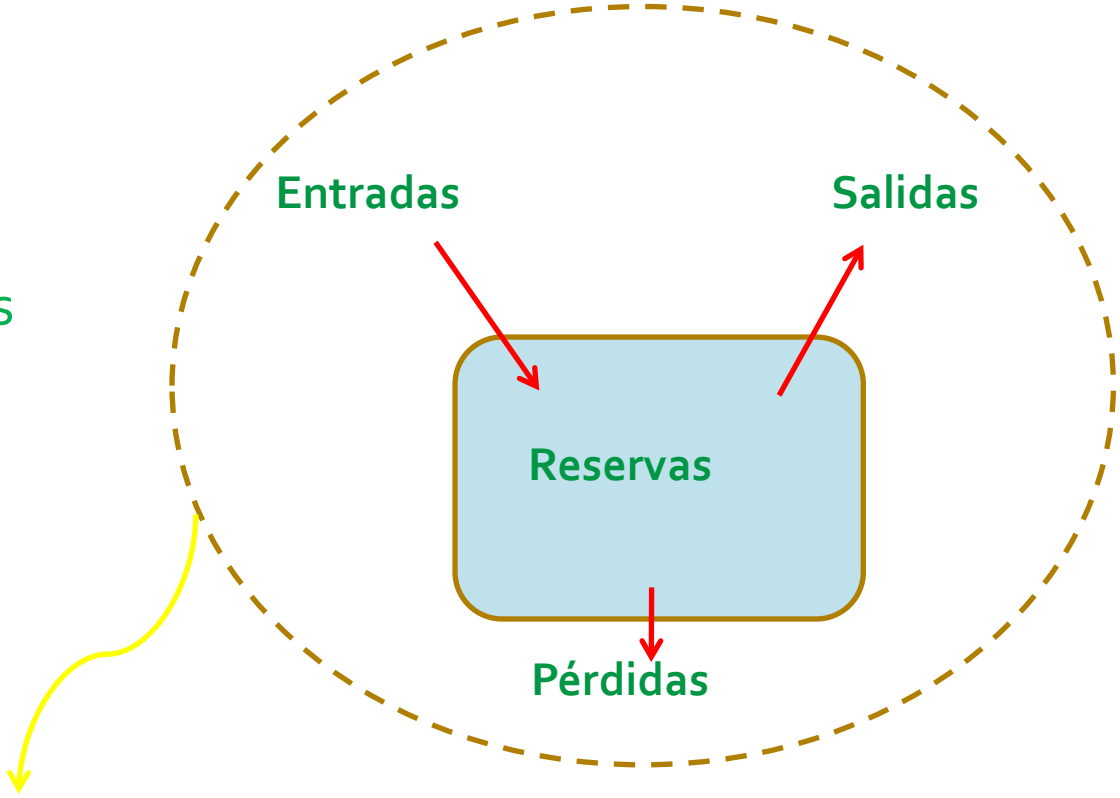
Eficiencia fisiológica

$$ER = \frac{A_T - A_{T0}}{F}$$

$$EF = \frac{R - R_0}{A_T - A_{T0}}$$

Balances Nutricionales

- Eficiencia de uso de los nutrimentos
- Entender los ciclos de los nutrimentos
- Evaluaciones de mediano a largo plazo de prácticas de manejo de nutrimentos
- Circulación de nutrimentos y sus impactos en los suelos y ambiente
- Regulaciones ambientales

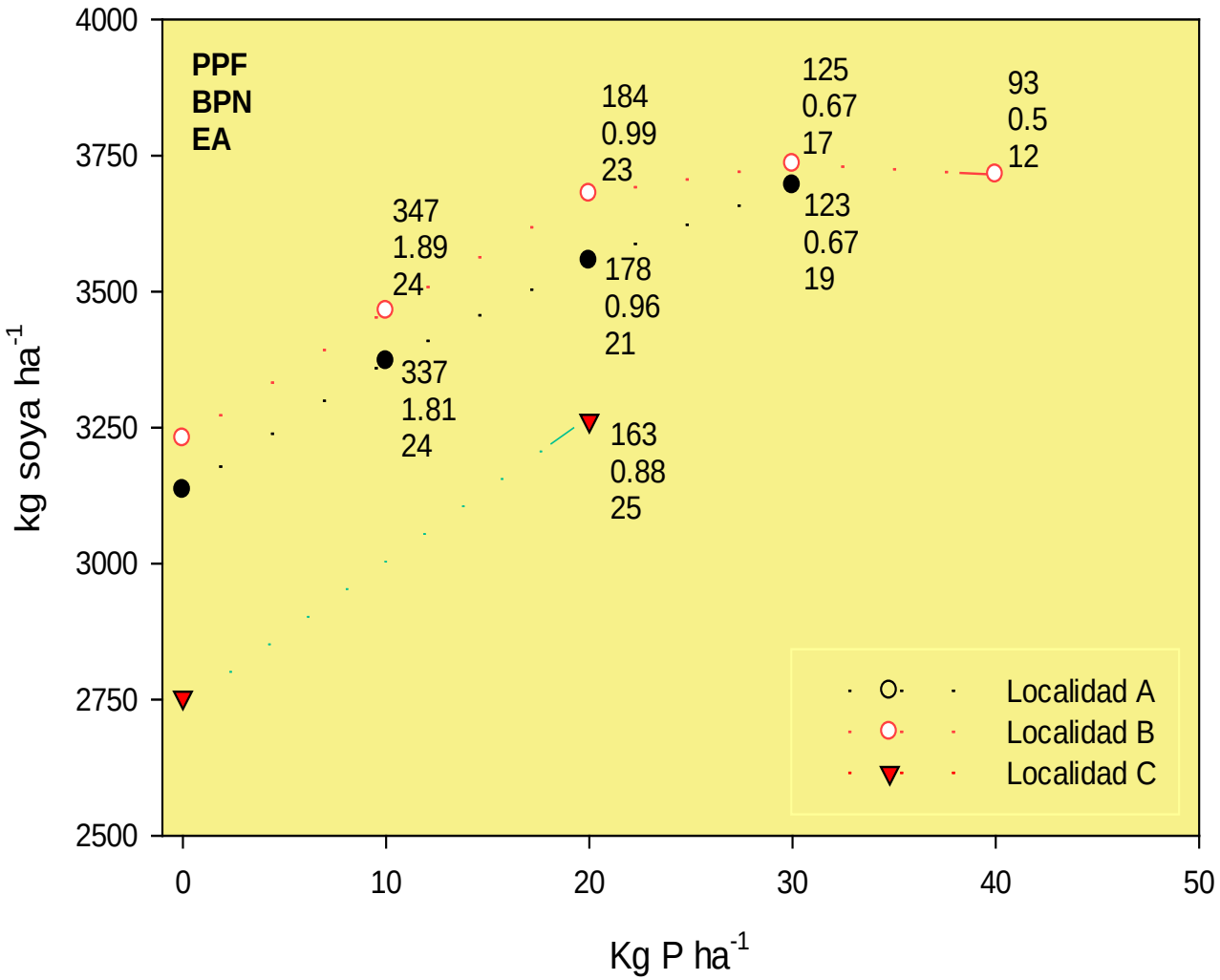


Predios, cuencas, estados, país,…

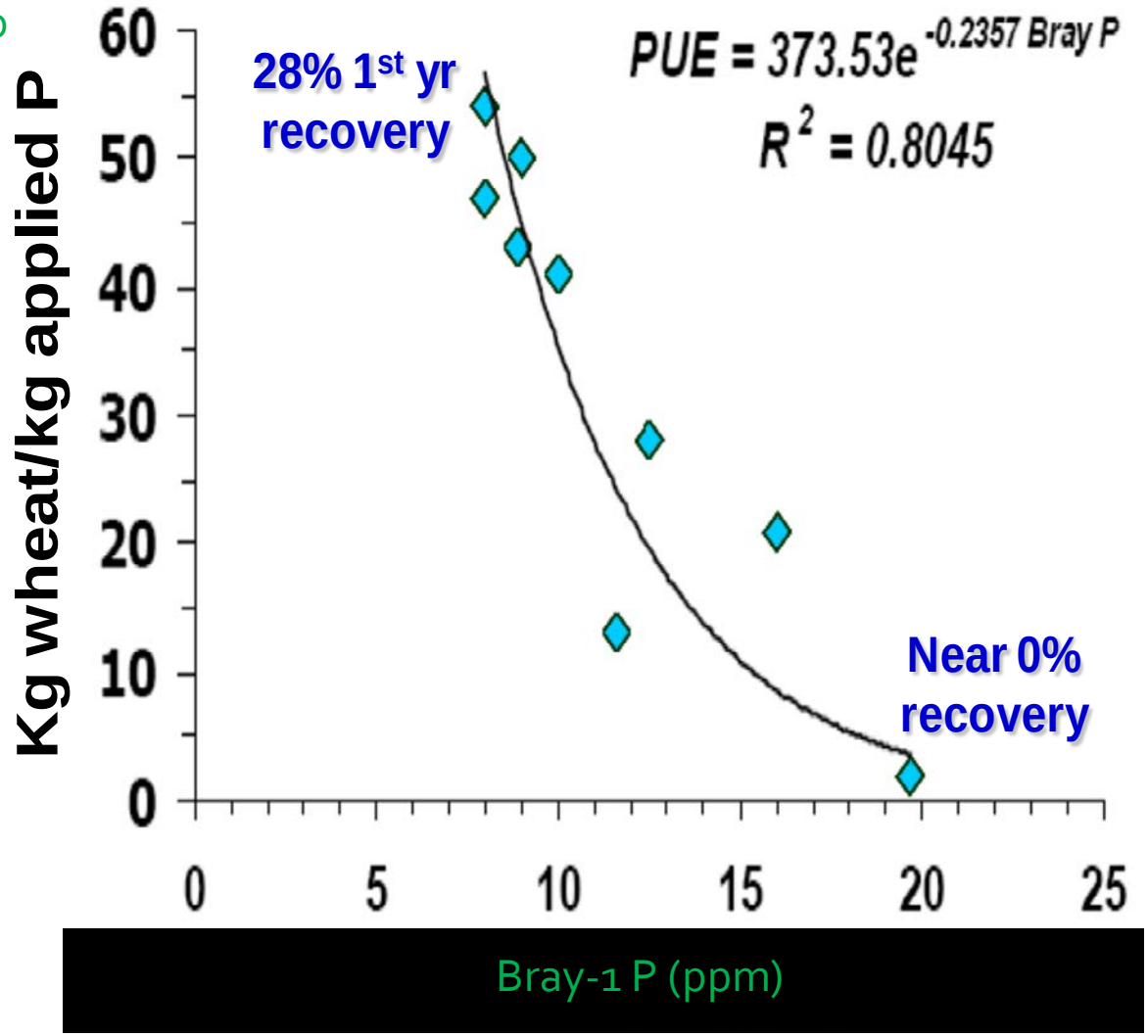
Balances Nutricionales

- Flexibilidad en
  - Horizonte temporal
  - Escala
  - Nivel de detalle
- Su interpretación debe incluir una comparación con las reservas de nutrimentos en el suelo y su disponibilidad

Interpretación de los valores de los índices

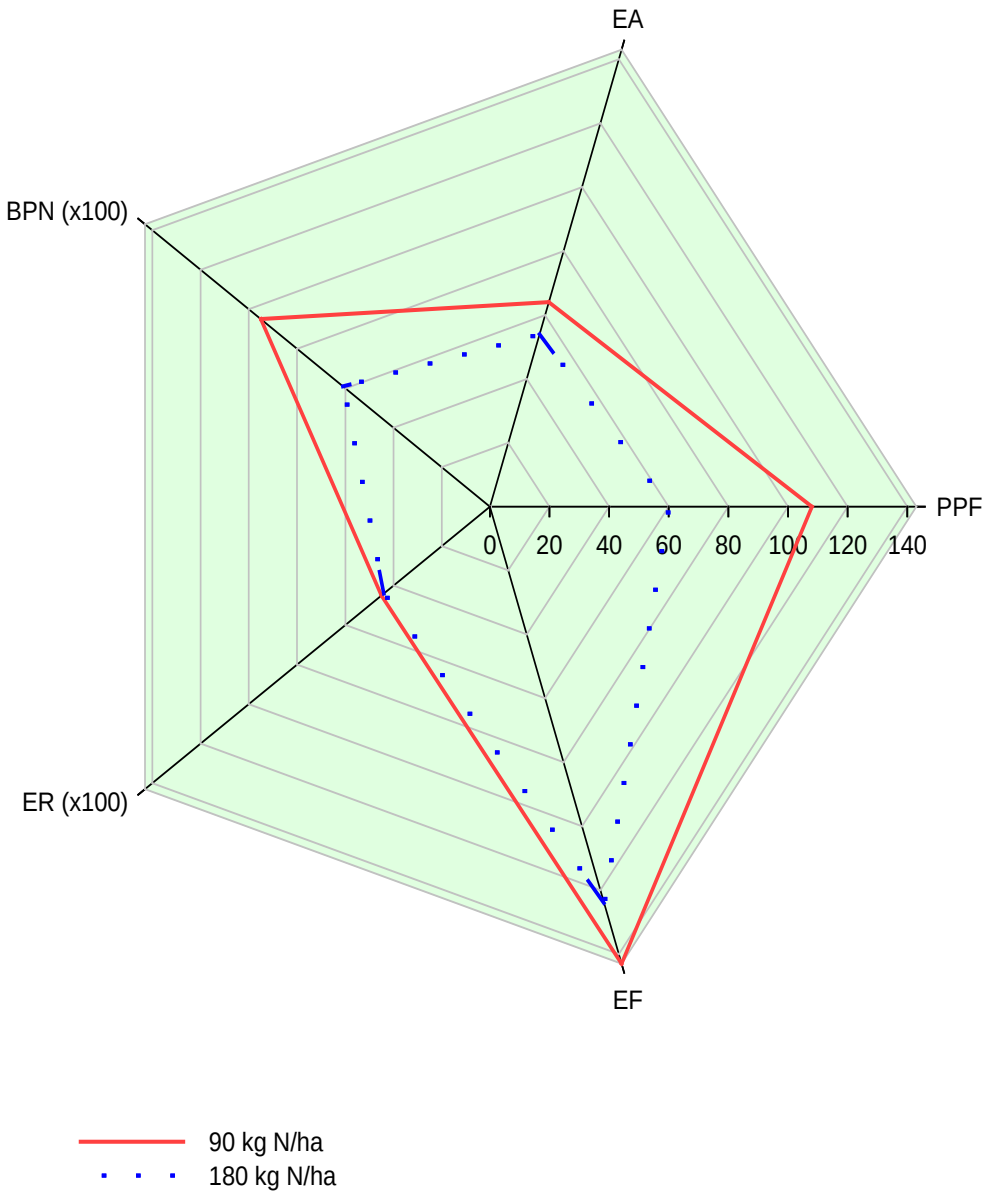

PPF
BPN
EA
347
1.89
24
337
1.81
24
184
0.99
23
178
0.96
21
163
0.88
25
125
0.67
17
123
0.67
19
93
0.5
12
Localidad A
Localidad B
Localidad C
kg soya ha-1
Kg P ha-1
4000
3750
3500
3250
3000
2750
2500
0
10
20
30
40
50

Kg trigo/kg P aplicado

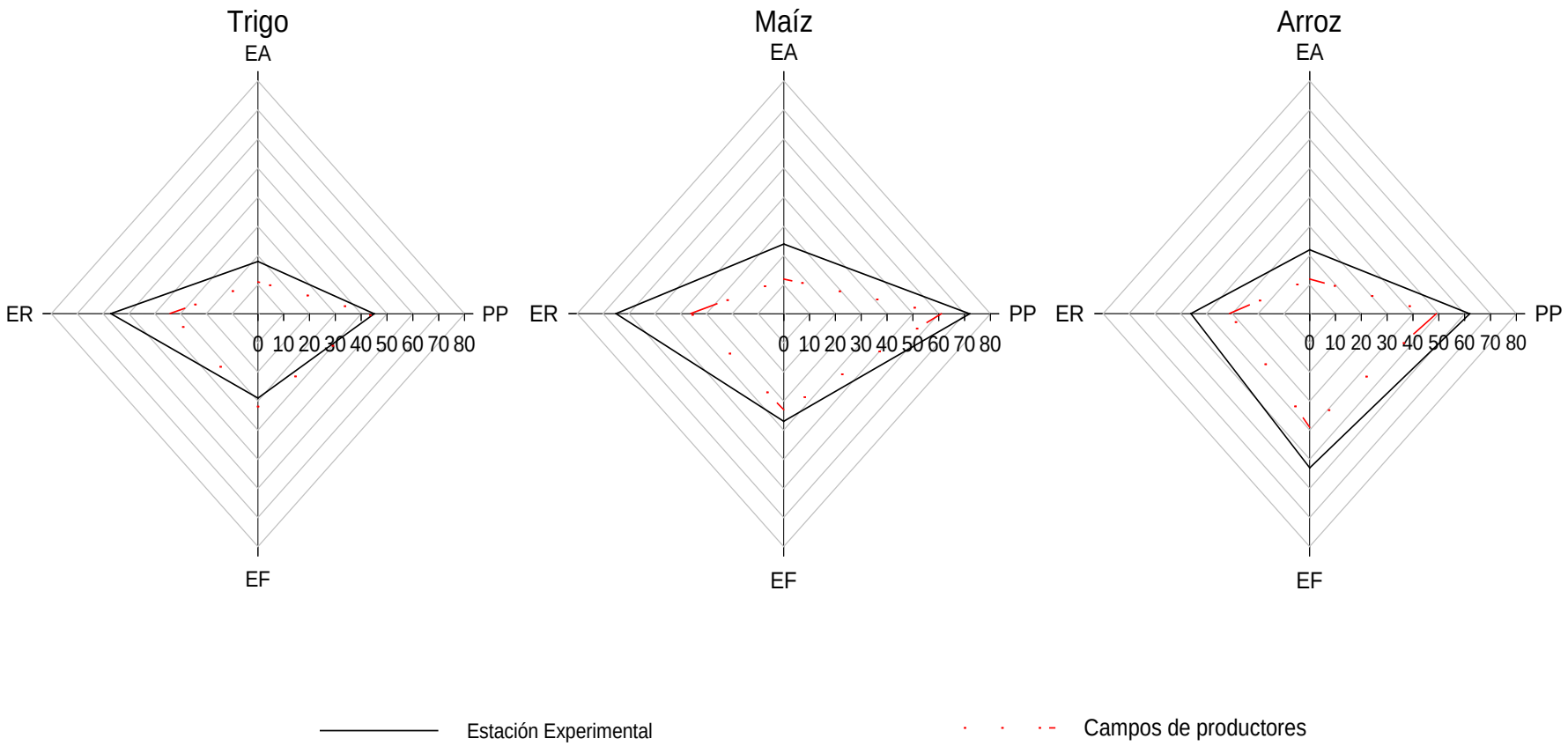


Eficiencia agronómica del fertilizante fosforado en experimentos en trigo en Argentina (García, 2004).

Eficiencia de uso de N en maíz a dos dosis de N - Argentina (Barbieri et al., 2008)



Eficiencias: Parcelas de investigación vs. Parcelas de producción



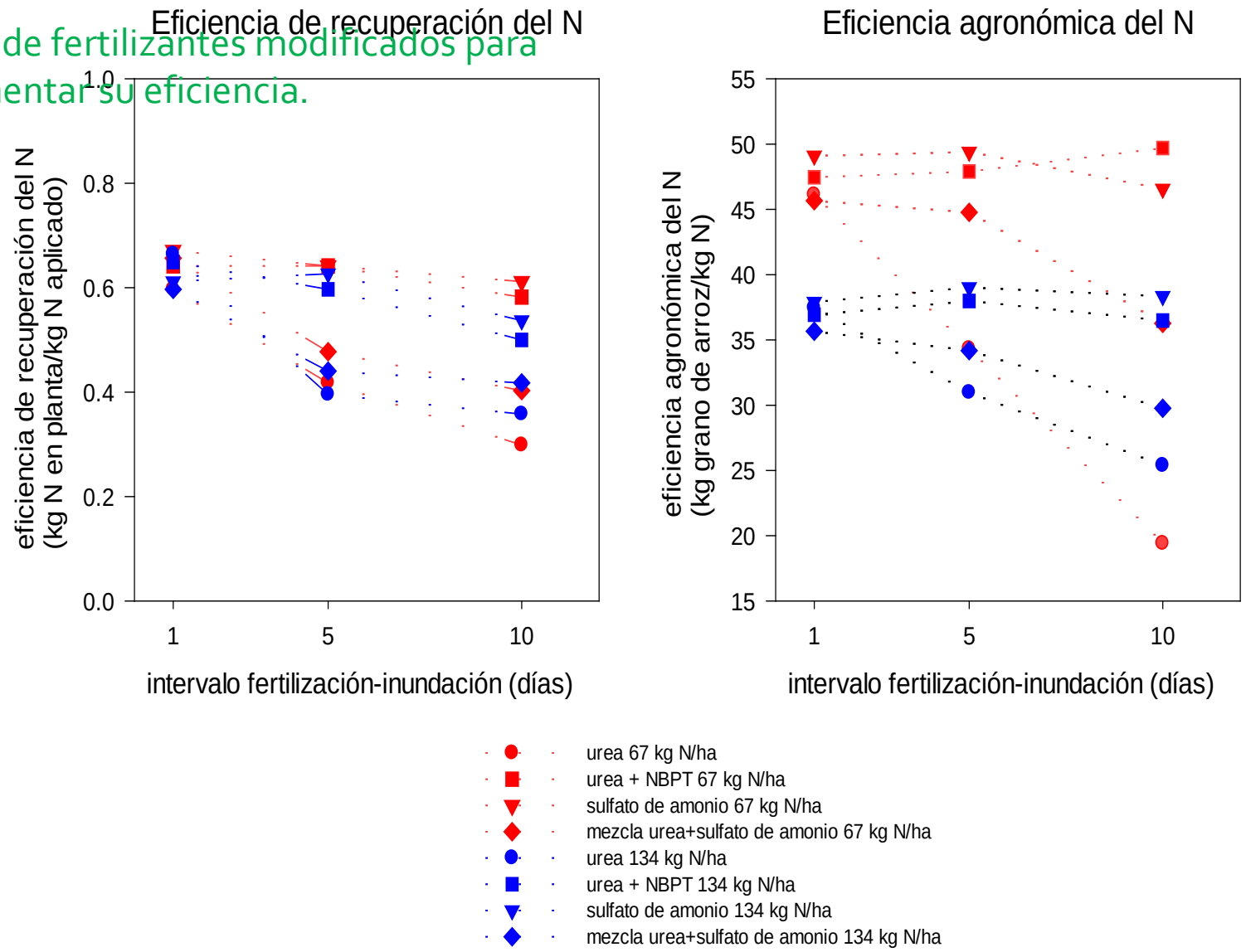
(Dobermann. 2007)

Como la interpretación de los valores varía con los índices

- Varios índices deben ser considerados para:
  - Entender los factores que controlan la toma y eficiencia de los nutrimentos
  - Comparar EUN en distintos ambientes
  - Evaluar estrategias de manejo

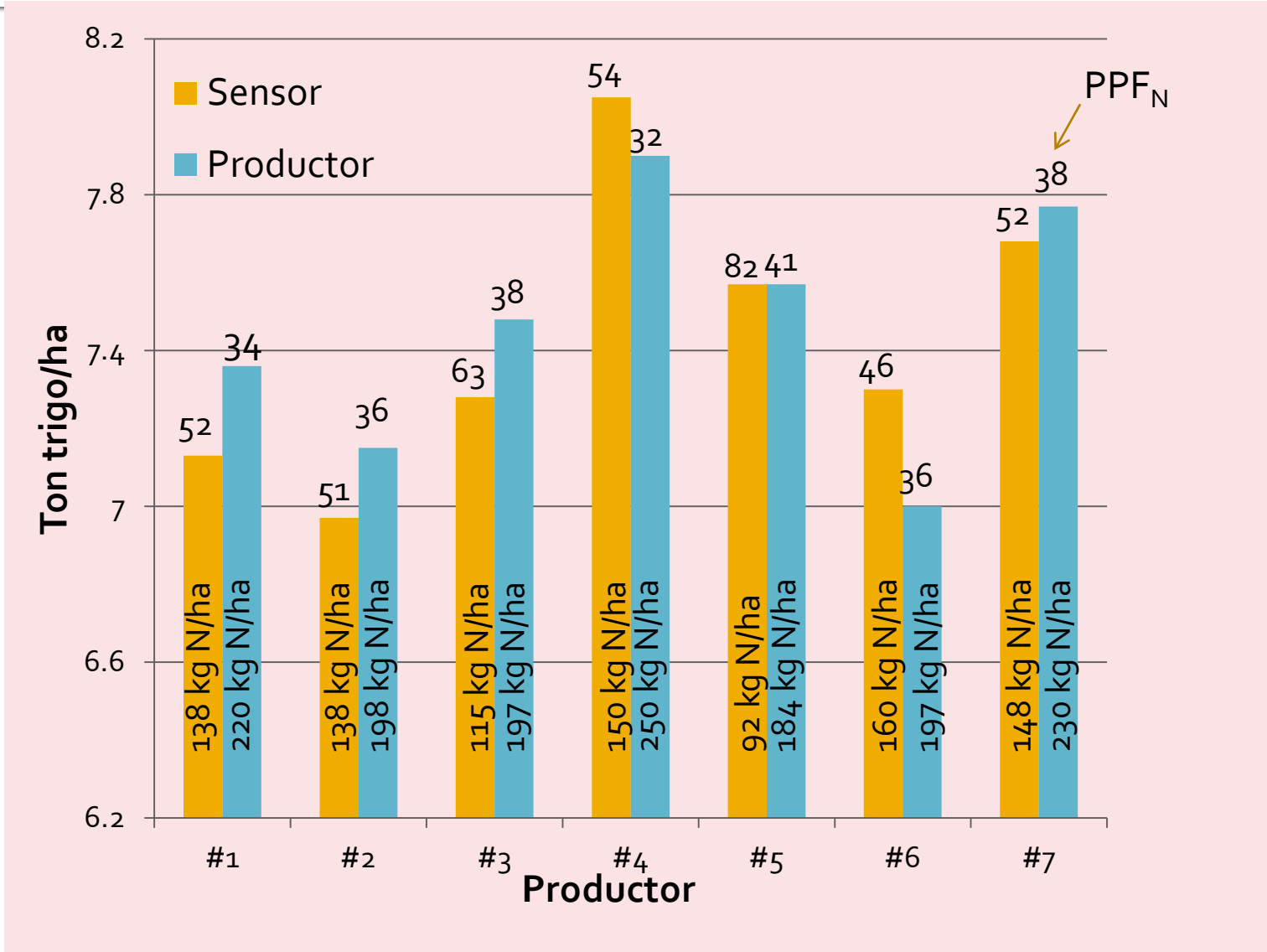
N en arroz - Arkansas

Uso de fertilizantes modificados para aumentar su eficiencia.



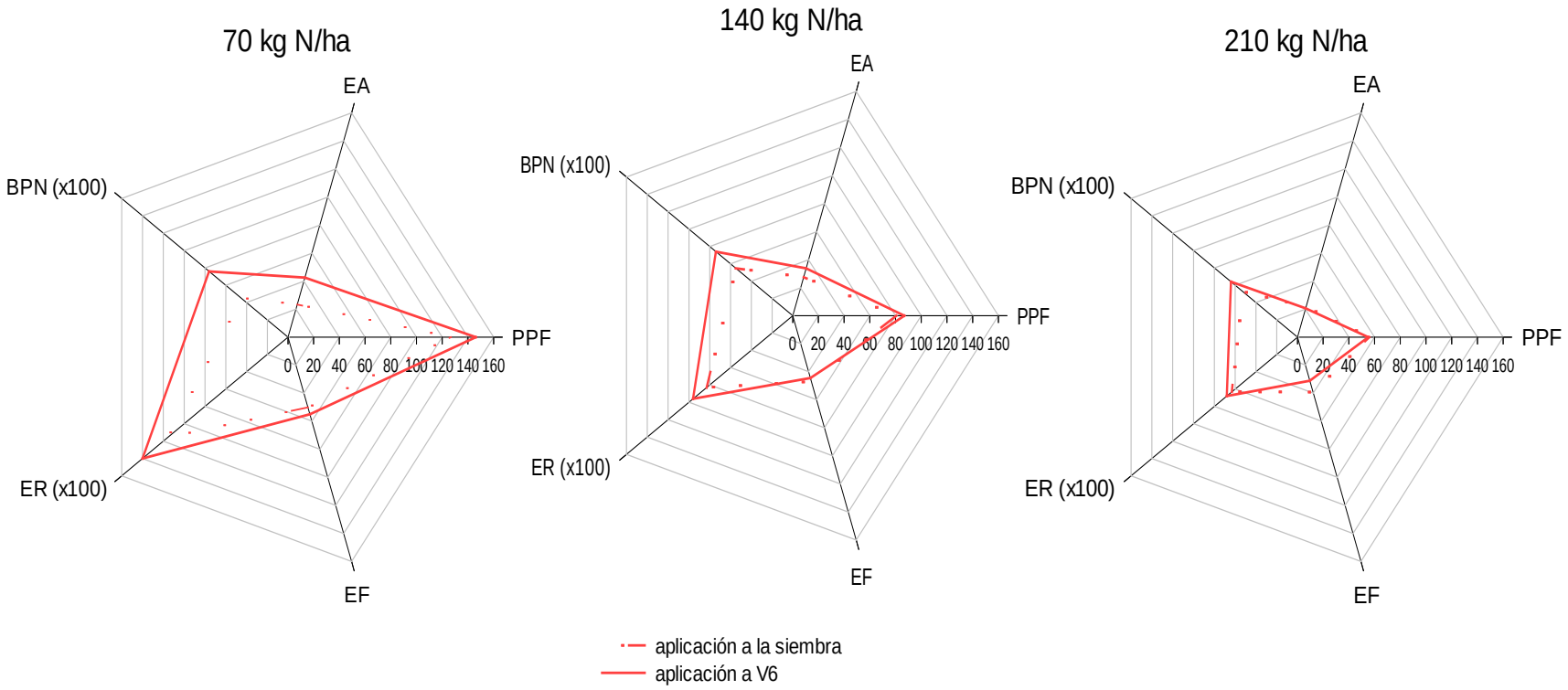
Norman et al., 2009

Sensores para manejo de N en trigo -Sonora



Ortiz-Monasterio y Raun, 2007

Eficiencia de uso de N en maíz - Argentina

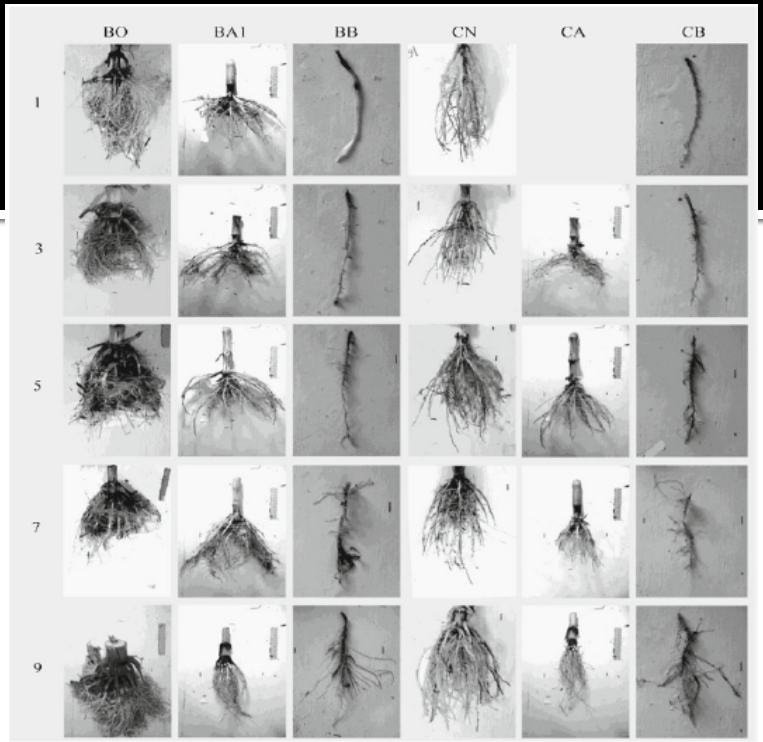


Además

- Considere el impacto posible del manejo sobre el recurso suelo
- Análisis económico

Lugar

Raíces



- Arquitectura de las raíces
  - Genética
  - Ambiente
    - Agua
    - Calor
    - Nutrimentos
    - Compactación del suelo
- Posición de las raíces durante el ciclo del cultivo
- Cambios en la absorción de nutrimentos durante el ciclo del cultivo
  - Actividad de las raíces
  - Movimiento de los nutrimentos en el suelo

Métodos de aplicación

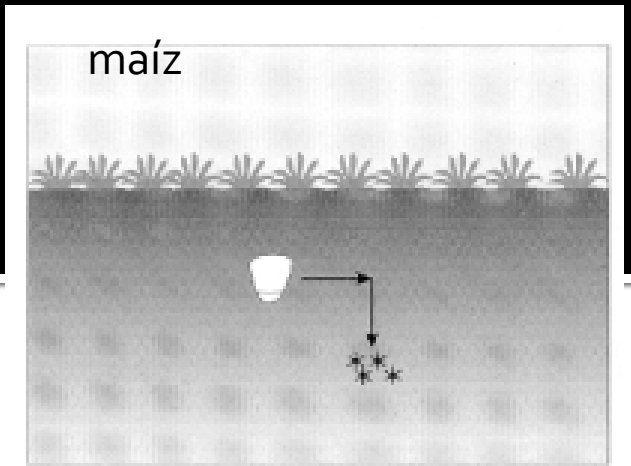
VOLEO

BANDAS

Consecuencias de la aplicación en bandas

- Nutrimentos concentrados en menor volumen de suelo
- Mayor proporción de nutrimento en la solución del suelo disminuye inmovilización
- Mayor concentración en solución del suelo ayuda en el movimiento por flujo de masa y difusión
- Mayor concentración de nutrimentos promueve crecimiento de raíces

Conceptos sobre la aplicación en bandas



- Más eficientes con:
  - bajos niveles de nutrimentos en el suelo
  - bajas dosis de aplicación
  - nutrimentos que se mueven principalmente por difusión
- Bajas dosis de nutrimentos en bandas pueden ser insuficientes

Ventajas ambientales de la aplicación en bandas

- Menores pérdidas por
  - Escurrimiento
  - Volatilización
    - NH_3 a partir de urea

Nutrimentos en contacto directo con las semillas del cultivo

- Sensibilidad de la semilla
- Índice de sal del fertilizante
- Ancho de la banda ocupada por fertilizante + semilla
- Textura del suelo
- Contenido de agua a la siembra
- Pérdida de plantas tolerable
- Urea, UAN 28%, DAP, inactivan enzimas de las semillas

Fertilizante	Solubilidad [1]	Índice Sal [2]	N	P_2O_5	K_2O	MgO	S
Ácido fosfórico				72			
Cloruro de potasio	347	**116**			60		
Fosfato monoamónico	282	**30**	11	52			
Fosfato diamónico	575	**34**	18	46			
Fosfato monopotásico	330	**8**		52	34		
Nitrato de magnesio	200		11			15	
Nitrato de amonio	1.183	**105**	34				
Nitrato de calcio	3.41	**53**		17		24	
Nitrato de potasio	316	**74**	13		44		
Sulfato de amonio	760	**69**	21				23
Sulfato de magnesio	260	**44**				16	13
Sulfato de potasio	110	**46**			50		18
Sulfato de potasio y magnesio	110				22	11	22
Urea	1.193	**75**	46				

[1] Solubilidad en g/l (kg/m^3) a 20ºC de la forma cristalina de la sal, de aquellos fertilizantes más usados para preparar soluciones de fertigación.
[2] El índice salino se calcula por el incremento en presión osmótica producido por un peso igual de fertilizante relativo al nitrato de sodio (ind.sal=100)

Daño potencial de fertilizantes a cultivos

Daño potencial relativo de fertilizantes	
TSP	2.5
KSMg	3.3
K sulfate	3.6
MAP	3.8
DAP	4.3
28-0-0	6.0
KCl	6.7
Nitrato de amonio	8.1
Urea + NBPT	8.4
Urea	15.2

Gelderman, 2010

Sensibilidad relativa de cultivos a fertilizante colocado junto a la semilla	
Maíz	1.0
Cebada	1.7
Trigo harinero	2.2
Trigo duro	2.5
Avena	2.7
Sorgo	3.4
Chícharo	3.6
Algodón	3.7
Lenteja	4.8
Cártamo	5.1
Soya	6.2
Lino	6.4
Canola	6.4
Alfalfa	7.3

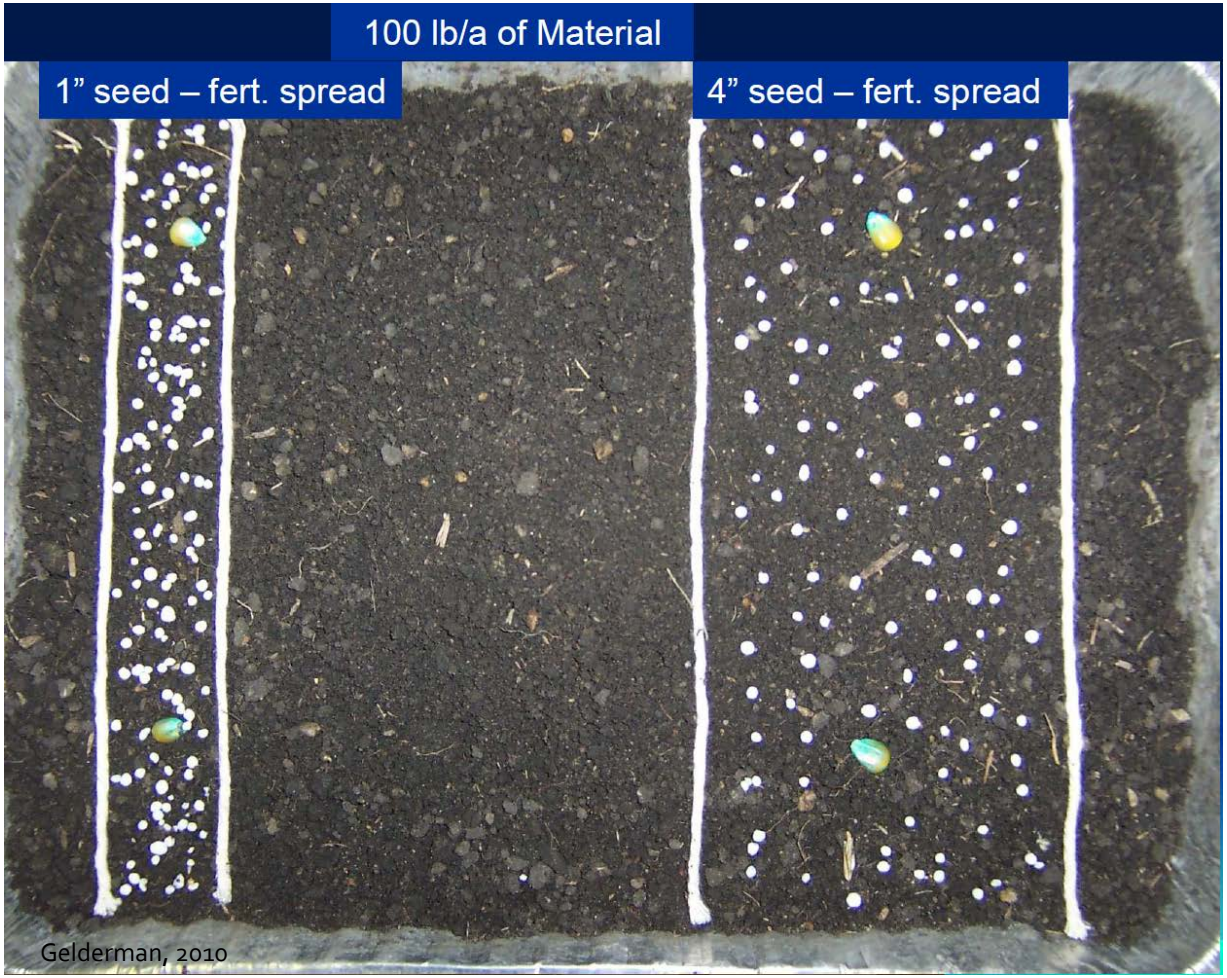
Daño a maíz por fertilizantes

Picture 2: Root Injury Symptoms From Boron: note the short discolored radicle and regrowth from secondary roots (Waseca 2008)

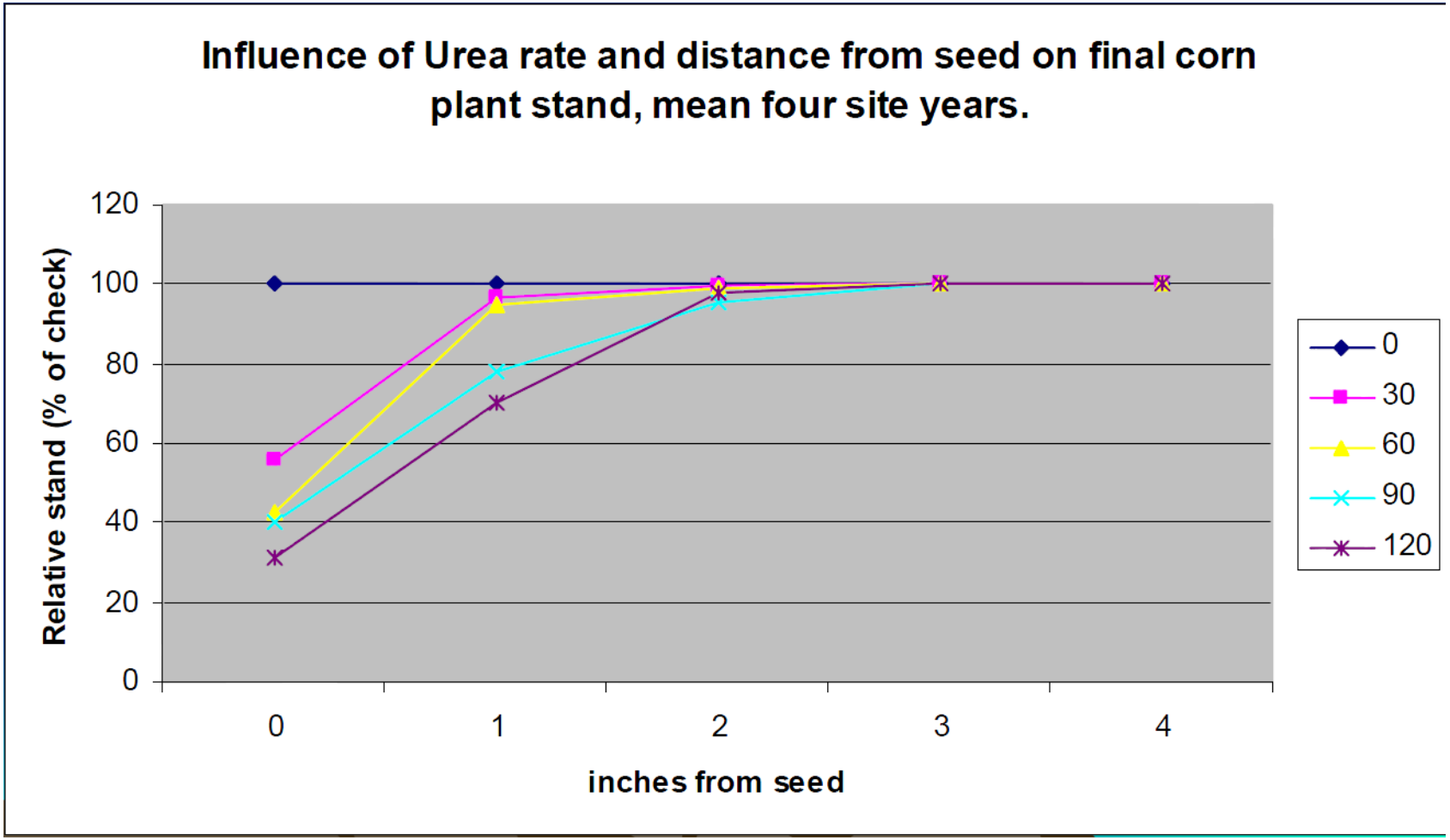
Picture 1: Thin Stands Caused by Over-application of Boron Directly on the Seed (Waseca 2008)

http://minnesotafarmguide.com/app/blog/?p=220

Ancho de la banda ocupada por fertilizante + semilla



Distancia y dosis de urea a la siembra de maíz



Gelderman, 2010

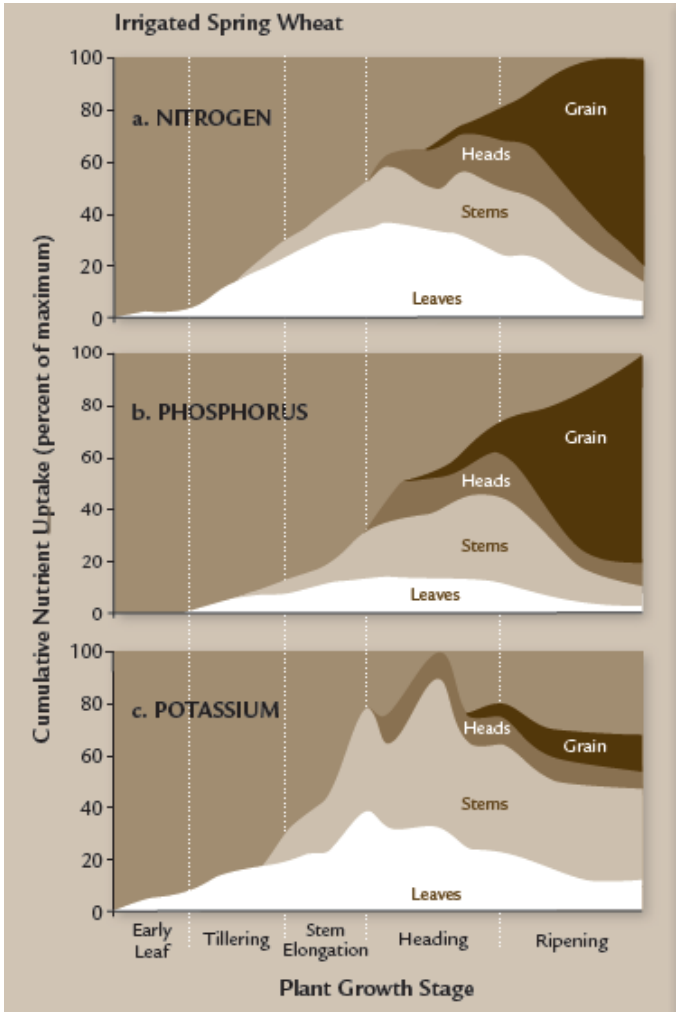
Aplicaciones foliares

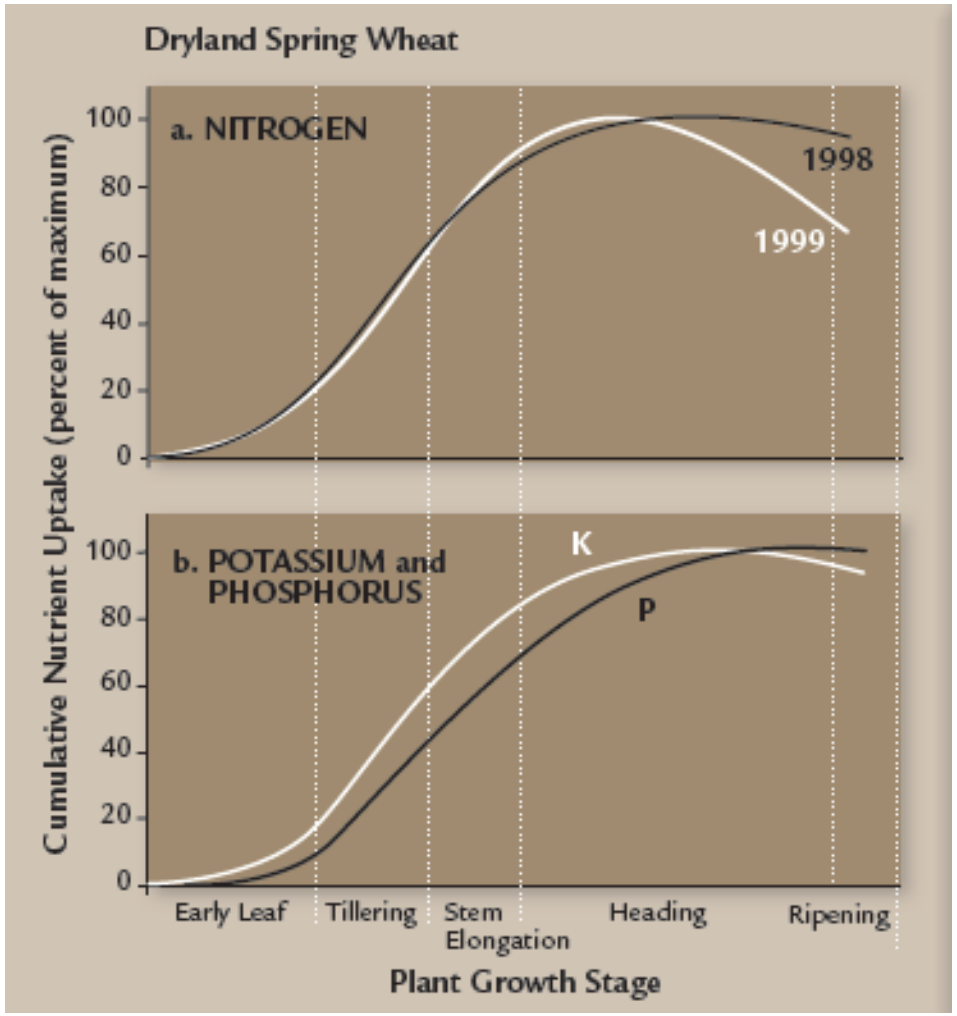
- Penetración líquida
  - Eficacia limitada
    - Cutícula/ceras
    - Eficiencia de la aspersión
    - Lavado por lluvia
    - Posibilidad de fitotoxicidad
    - Secado de las gotas
    - Translocación limitada

Tiempo

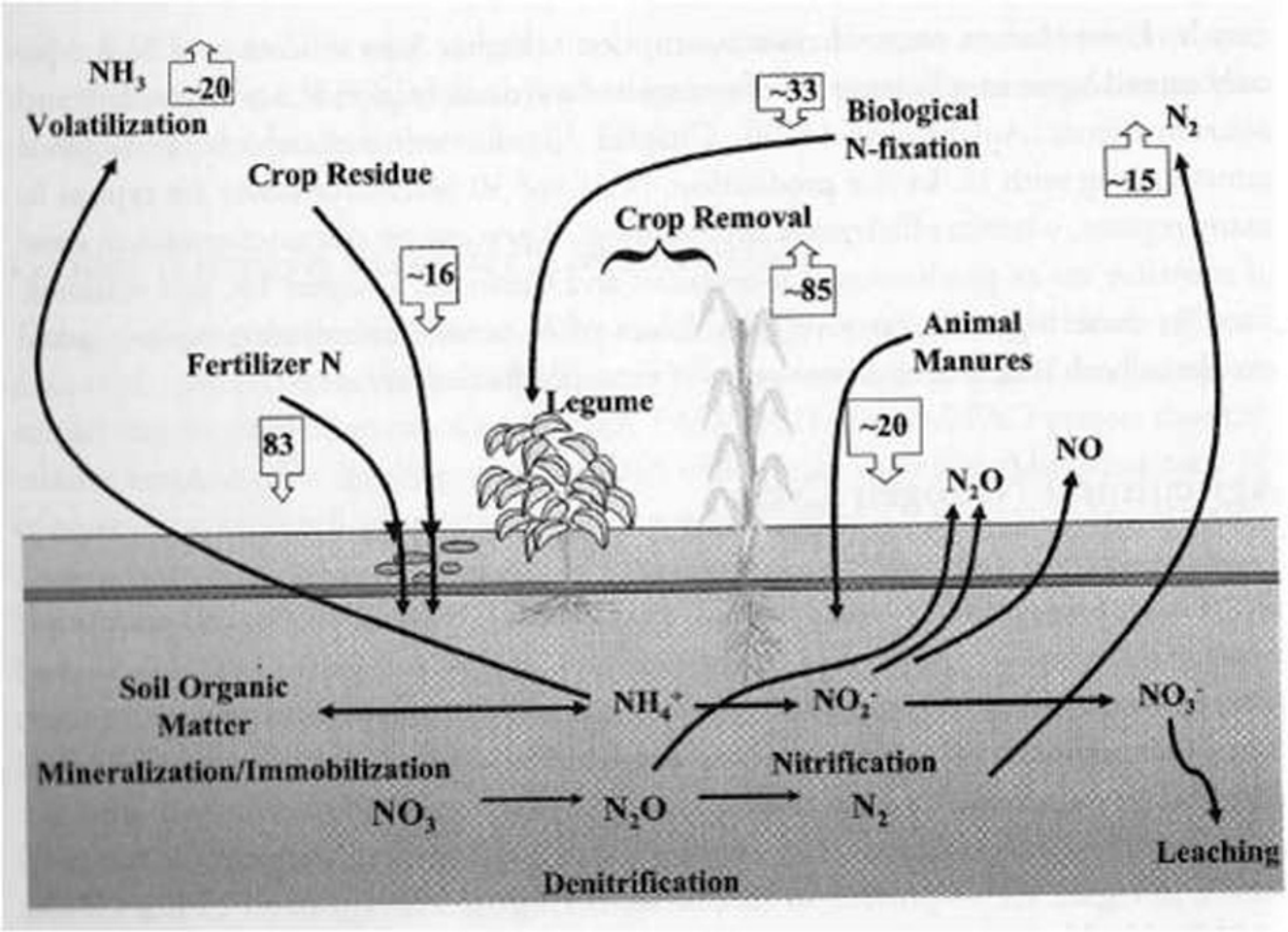
- ¿cuándo absorben las plantas los nutrimentos?
- ¿dinámica del aporte de nutrimentos por el suelo?
- ¿dinámica de la pérdida de nutrientes en el suelo?
- Tener en cuenta los aspectos logísticos de la aplicación de nutrientes

Evaluar cuándo las plantas absorben los nutrimentos





Ciclo del N


NH3
~20
Volatilization
Crop Residue
~33
Biological
N-fixation
N2
~15
Crop Removal
~16
~85
Animal
Manures
Fertilizer N
Legume
83
~20
NO
N2O
Soil Organic
Matter
NH4+
NO2-
NO3-
Mineralization/Immobilization
Nitrification
NO3
N2O
N2
Leaching
Denitrification