



Intensificación sustentable de cultivos: ¿lo esencial es invisible a los ojos?

Dr Patricio Grassini

Profesor de Agronomía

Universidad de Nebraska-Lincoln (Estados Unidos)

pgrassini2@unl.edu

ESTA CHARLA EN EL CONTEXTO ACTUAL

Argentina's Epic Drought Is Pushing Economic Crisis to New Extremes

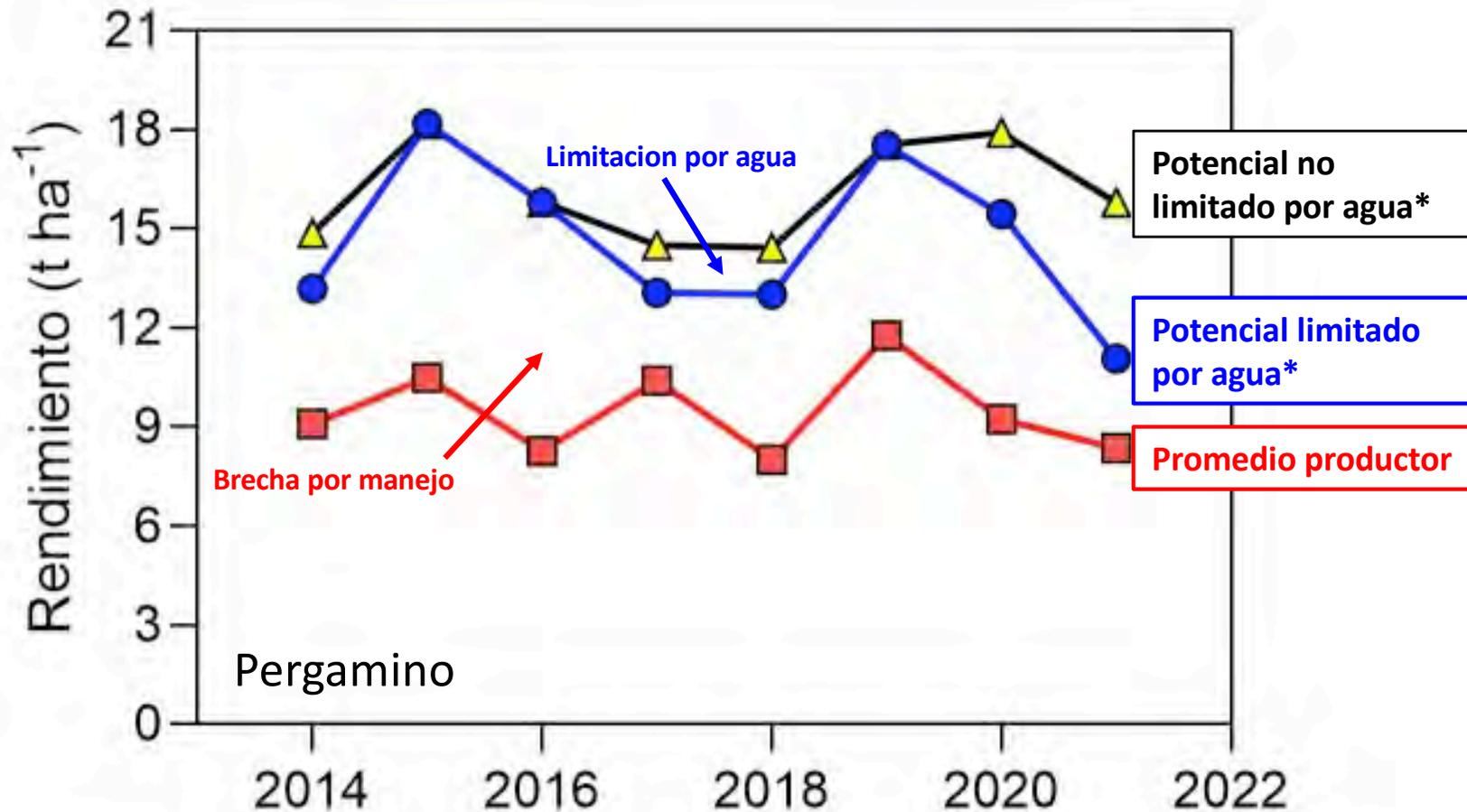
- Exports poised to plummet with almost half the soy crop ruined
- Dollar shortage putting pressure on peso, fueling inflation



<https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-04-12/argentina-s-drought-is-pushing-inflation-to-new-extremes>

QUE LA SEQUIA NO TAPE LA BRECHA DE MANEJO

La brecha por manejo es mas grande que la limitación por agua en la mayoría de los años



* Rendimiento potencial estimado usando un modelo de simulacion y datos locales de clima y suelo (Jose Andrade, en preparacion)

**The
Economist**

Inside the Putin show

What next for SoftBank?

Graphene and decarbonisation

Is China uninvestible?

MAY 21ST - 27TH 2022

The coming food catastrophe



OPORTUNIDAD

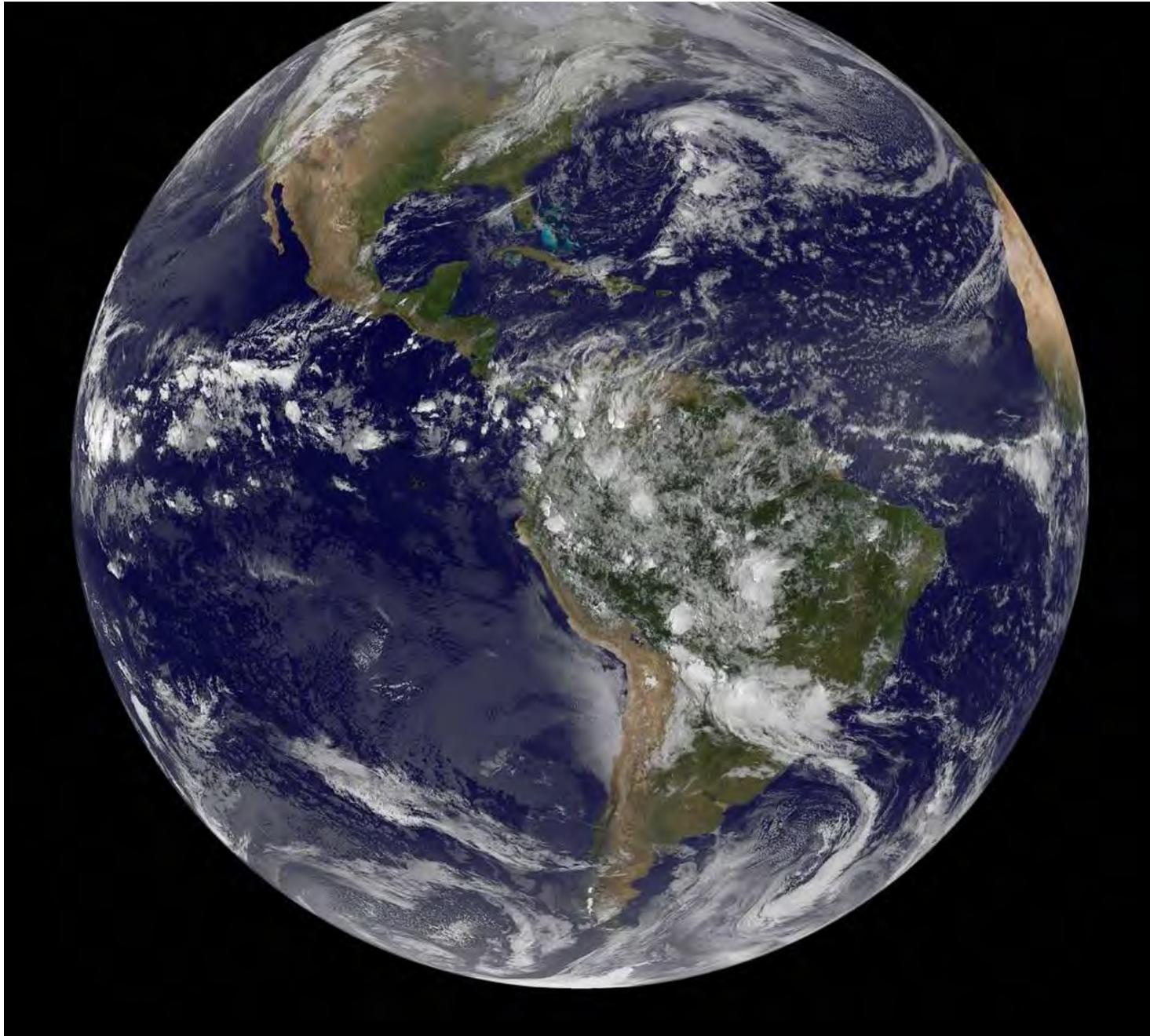
EL nivel de brecha de rendimiento, la prognosis de aumento de la demanda global de alimentos, y un sector agropecuario competitivo, ponen a la Argentina en una posición envidiable para intensificar la producción de cultivos de cara a los próximos 30 años.

The Economist, May 2022

UNA INVITACION A PENSAR A FUTURO

- **Resumen de tendencias macro en la agricultura mundial**
- **Rendimiento potencial y brechas**
- **Cerrando brechas vía manejo agronómico: ejemplos para Estados Unidos & Argentina**
- **Mensajes finales mirando hacia futuro**

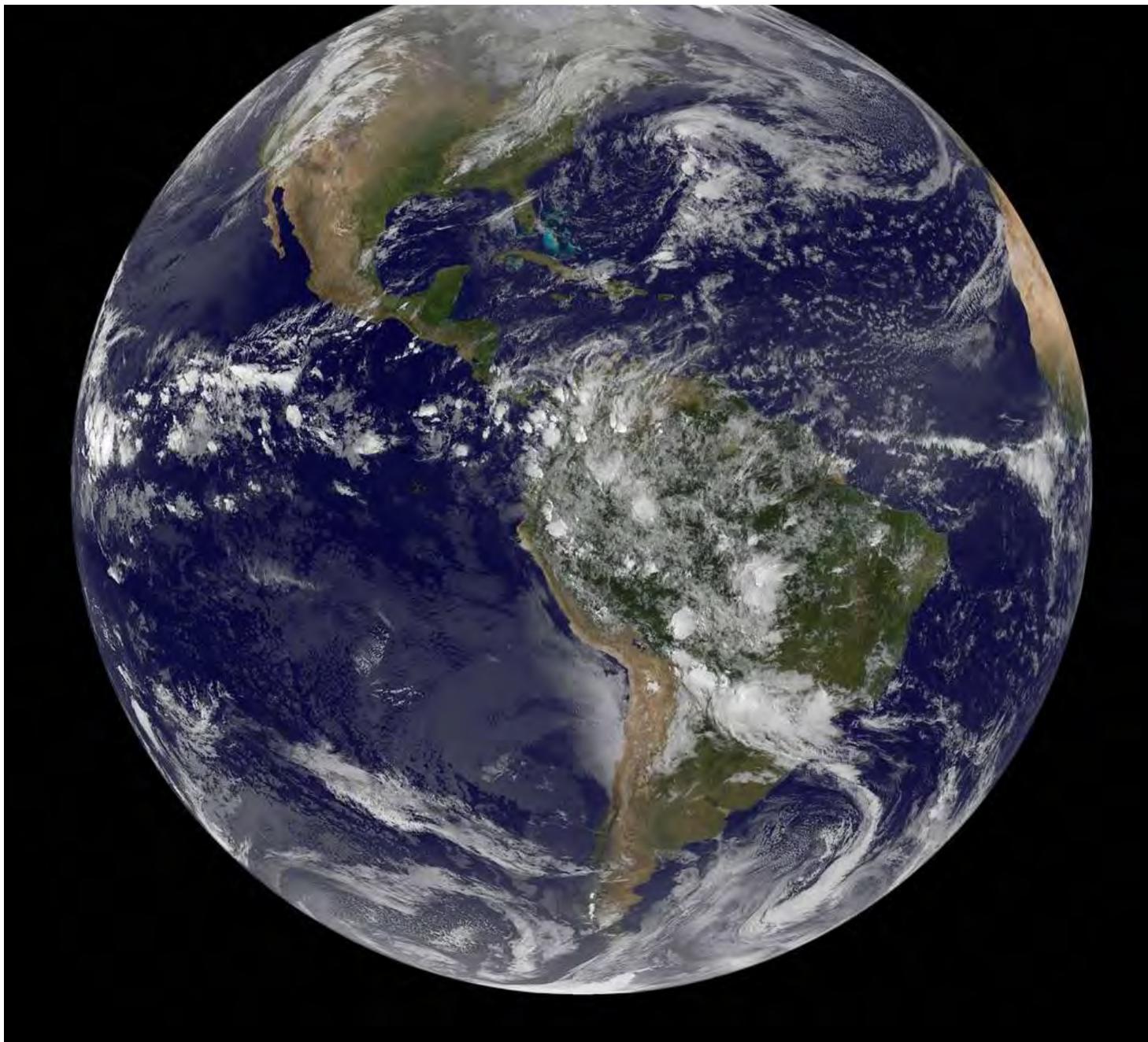
EL MUNDO DEL FIN DEL SIGLO PASADO



EL MUNDO DEL FIN DEL SIGLO PASADO

- **Legado de la revolución verde**
 - **Incremento en producción de alimento derivado de ganancias de rendimiento y mayor intensidad de cultivos**
 - **Impacto ambiental negativo asociado al uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en algunos casos**
- **Área cultivada estable**
- **Producción >> demanda, bajos precios**
- **Desenamoramamiento en invertir en investigación para 'alimentar al mundo'**
- **Mas grados de libertad para investigación de bajo retorno/impacto/escala**

EL MUNDO DEL NUEVO MILENIO

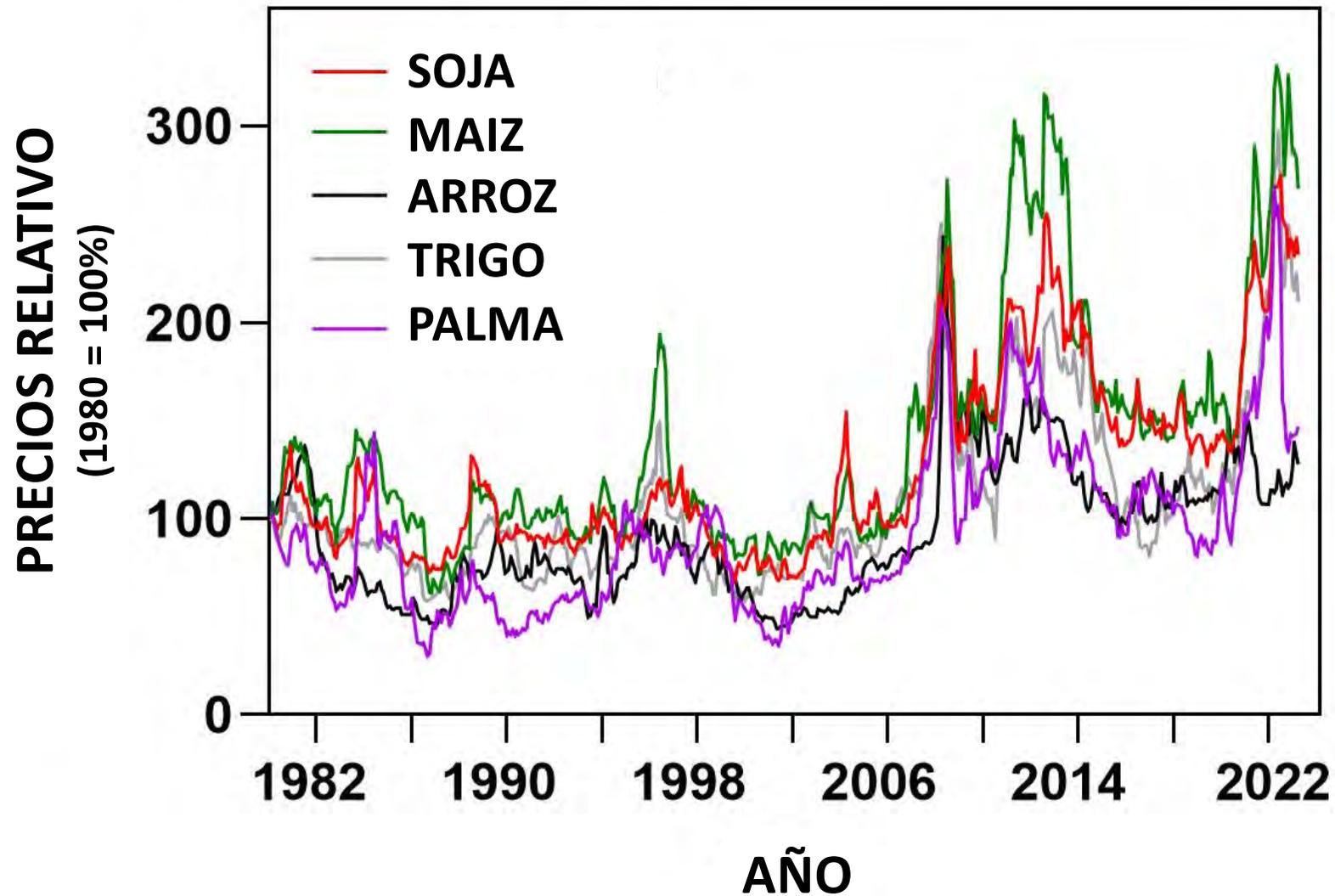


EL MUNDO DEL NUEVO MILENIO

- **Explosión en la demanda de alimentos debido a cambios demográficos y dietarios**
 - +50% incremento en demanda en los próximos 30 años, impulsado por dinámicas en África y Asia (FAO, 2017)
 - Limitado impacto de opciones para reducir la demanda en el corto plazo (reducción de pérdidas, cambios de dieta, etc.)
- **Tasas anuales de ganancia de rendimientos NO son suficientes para satisfacer la demanda futura en la tierra cultivada actualmente**
- **Conflictos entre países y barreras comerciales: renovado interés de los países en alcanzar un nivel de auto-suficiencia alimenticia razonable**

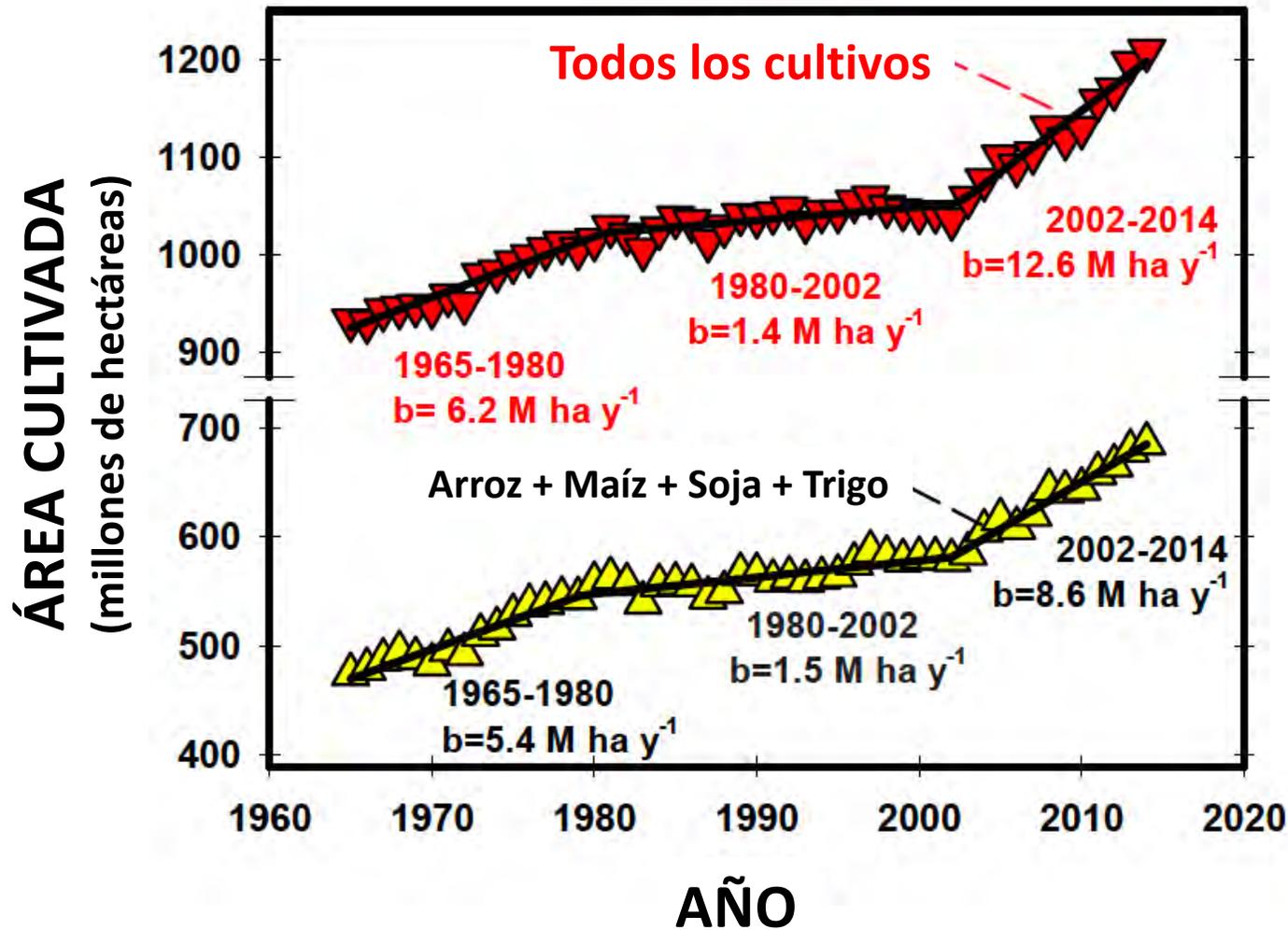
TENSION ENTRE DEMANDA Y OFERTA

Las últimas dos décadas se han caracterizado por precios altos y volátiles



MASIVA EXPANSIÓN DEL ÁREA AGRÍCOLA

Actualmente el área sembrada se expande a un ritmo de +13 millones de hectáreas por año



Expansión de cultivos en detrimento de selvas, sabanas y humedales



Foto: P. Grassini

Expansión de cultivos en áreas no aptas para agricultura



Foto: P Grassini

Presión de la sociedad por justificar prácticas de producción desde una dimensión ambiental

ENVIRONMENT

Gulf of Mexico's 'dead zone' larger than average this year

Human activities in urban and agricultural areas throughout the Mississippi River watershed primarily cause the annual "dead zone."



Satisfacer la demanda futura de alimentos sin expansión masiva del área cultivada va a requerir de una intensificación sustentable de los sistemas de producción de cultivos de tal manera que cada hectárea de tierra cultivada produzca cerca de su potencial, minimizando el impacto ambiental y preservado el recurso base (suelo, agua)**

**** Intensificación es necesaria, pero no suficiente por si sola, para alcanzar el nivel de seguridad alimentaria y protección ambiental deseable, lo cual requiere también de apropiadas políticas e instituciones.**

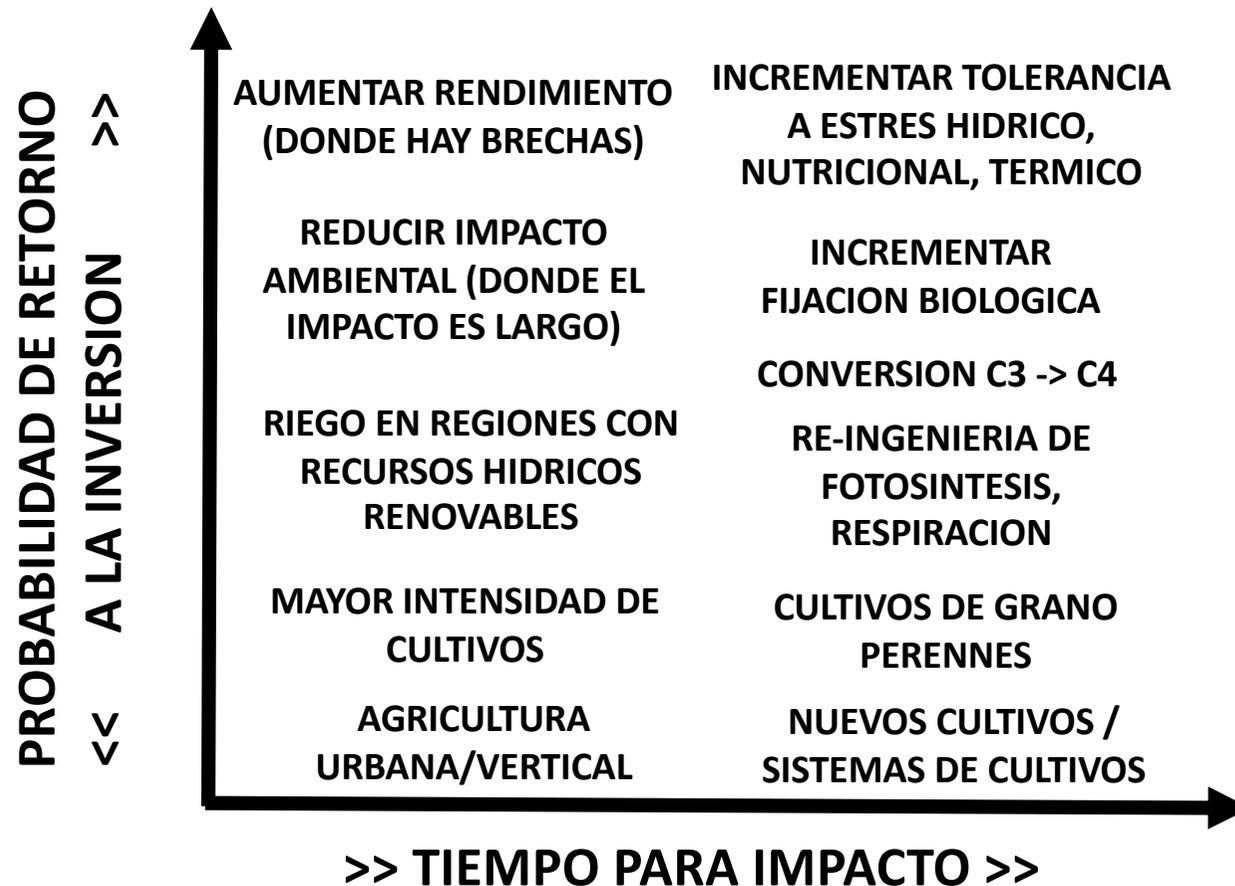
DEFINIENDO INTENSIFICACIÓN SUSTANTABLE

Agnóstica en relación a componentes, tecnologías, e ideologías, y focalizada en alcanzar METAS medibles:

- **Rendimiento promedio: 80% del potencial**
- **Mejora en eficiencias de agua, nitrógeno, y energía**
- **Reducción en gases de efecto invernadero por unidad de producto**
- **Rentable**
- **Incrementa la productividad del trabajo**
- **Mantiene o incrementa los stocks de carbono y nutrientes del suelo**
- **Manejo de plagas integrado**
- **Metas de biodiversidad (por ser determinadas)**

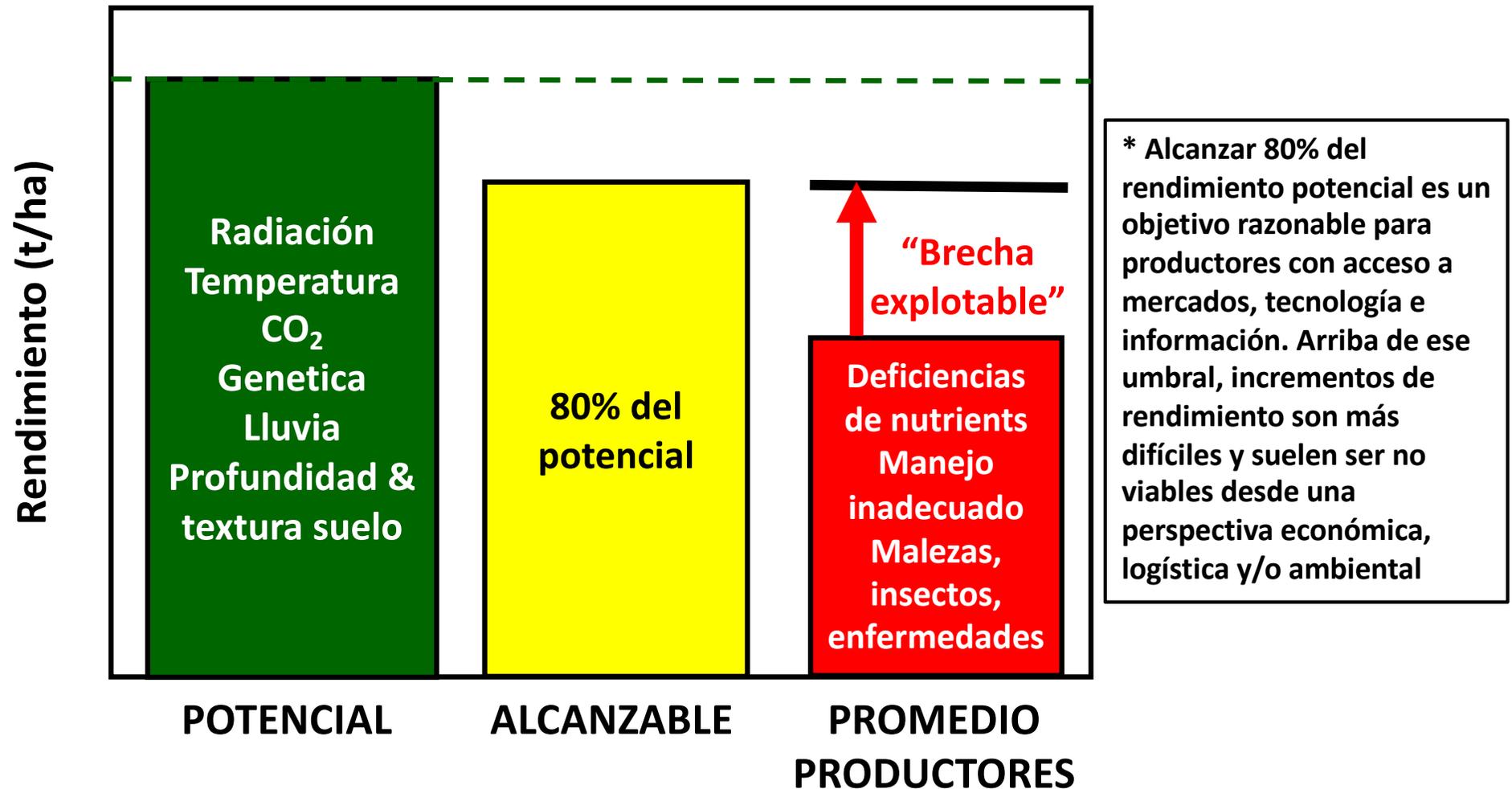
COMO ALCANZAR LAS METAS DE INTENSIFICACIÓN?

Opciones para alcanzar el nivel de intensificación deseable deben ser evaluadas & priorizadas de acuerdo a su probabilidad y tiempo/escala de impacto



NOTA: el esquema tiene como objetivo ilustrar diferentes opciones que potencialmente podrian contribuir a la intensificacion sustentable; su ubicacion dentro del esquema es arbitraria

RENDIMIENTO POTENCIAL Y BRECHAS



Adaptado de van Ittersum *et al.* (Field Crops Research, 2013)

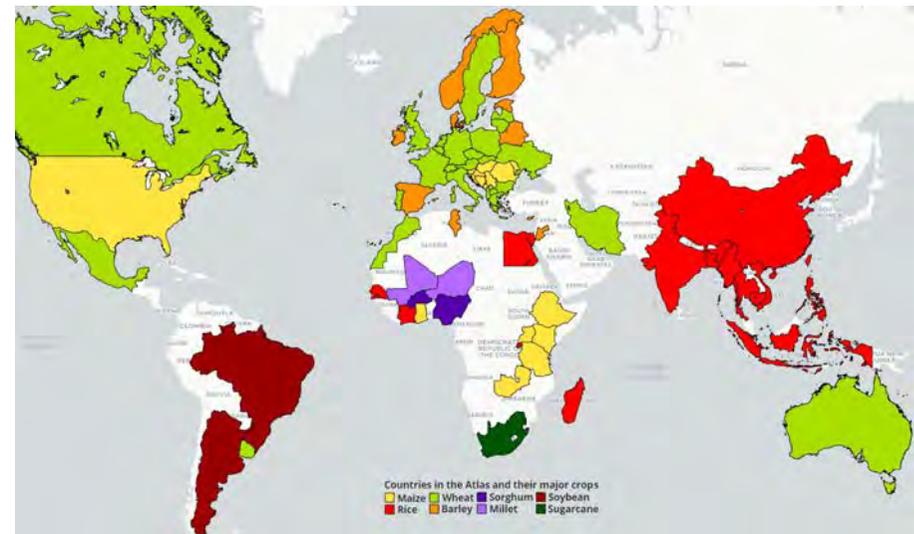
ATLAS DE BRECHAS (GYGA)

Iniciativa liderada por la Universidad de Nebraska (USA) y Wageningen (Países Bajos), en colaboración con expertos locales

Protocolo global con aplicación local, basado en el conocimiento de la fisiología de cultivos y los sistemas de producción.

Protocolo para estimar brechas aplicado consistentemente a través de cultivos y países

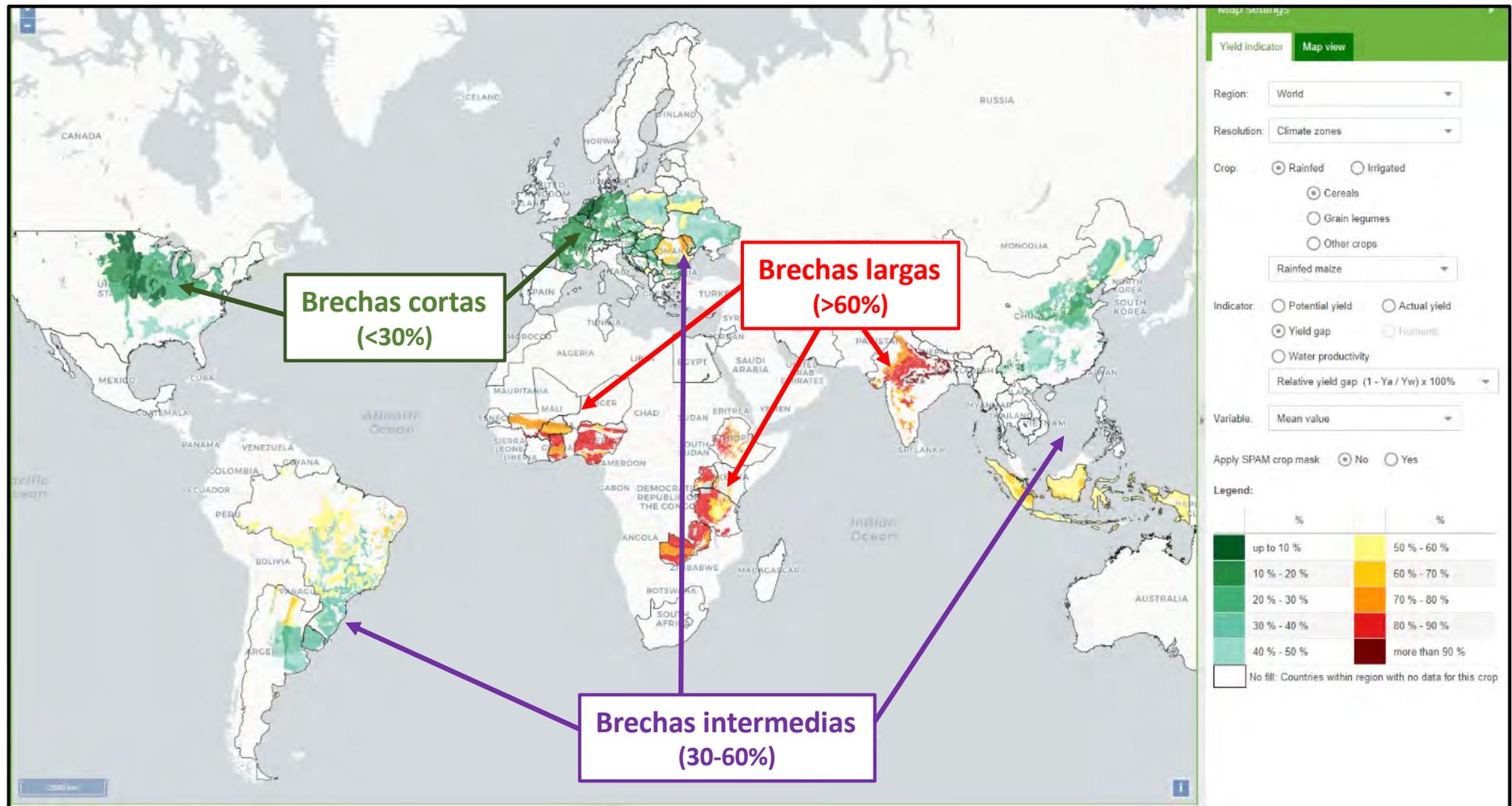
70 países que producen **91%, 86%, 58%, and 82%** de la producción global de arroz, maíz, trigo y soja.



www.yieldgap.org

BRECHAS DE RENDIMIENTO A NIVEL GLOBAL

Brechas de rendimiento de maíz a través de diferentes países



BRECHAS EN AMERICA DEL SUR

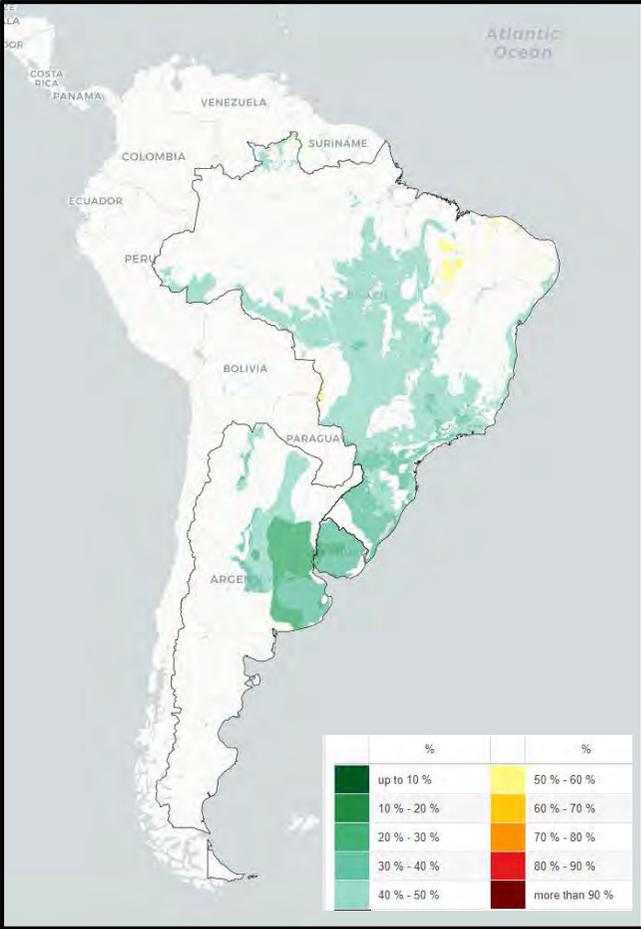
Maíz
(30-60% del potencial)



Trigo
(30-65% del potencial)



Soja
(25-50% del potencial)



CERRANDO BRECHAS: CASOS DE ESTUDIO

- **‘La mirada de los herejes’: maíz regado de alto rendimiento en Nebraska (USA)**
- **‘Aprendiendo de los productores’: soja en el cinturón maicero norteamericano**
- **‘Pan para hoy, hambre para mañana’: brechas de nutrientes en sistemas de cultivos en Argentina**

‘La mirada de los herejes’: factores que explican ganancias de rendimiento en maíz regado de alto rendimiento en Nebraska (USA)

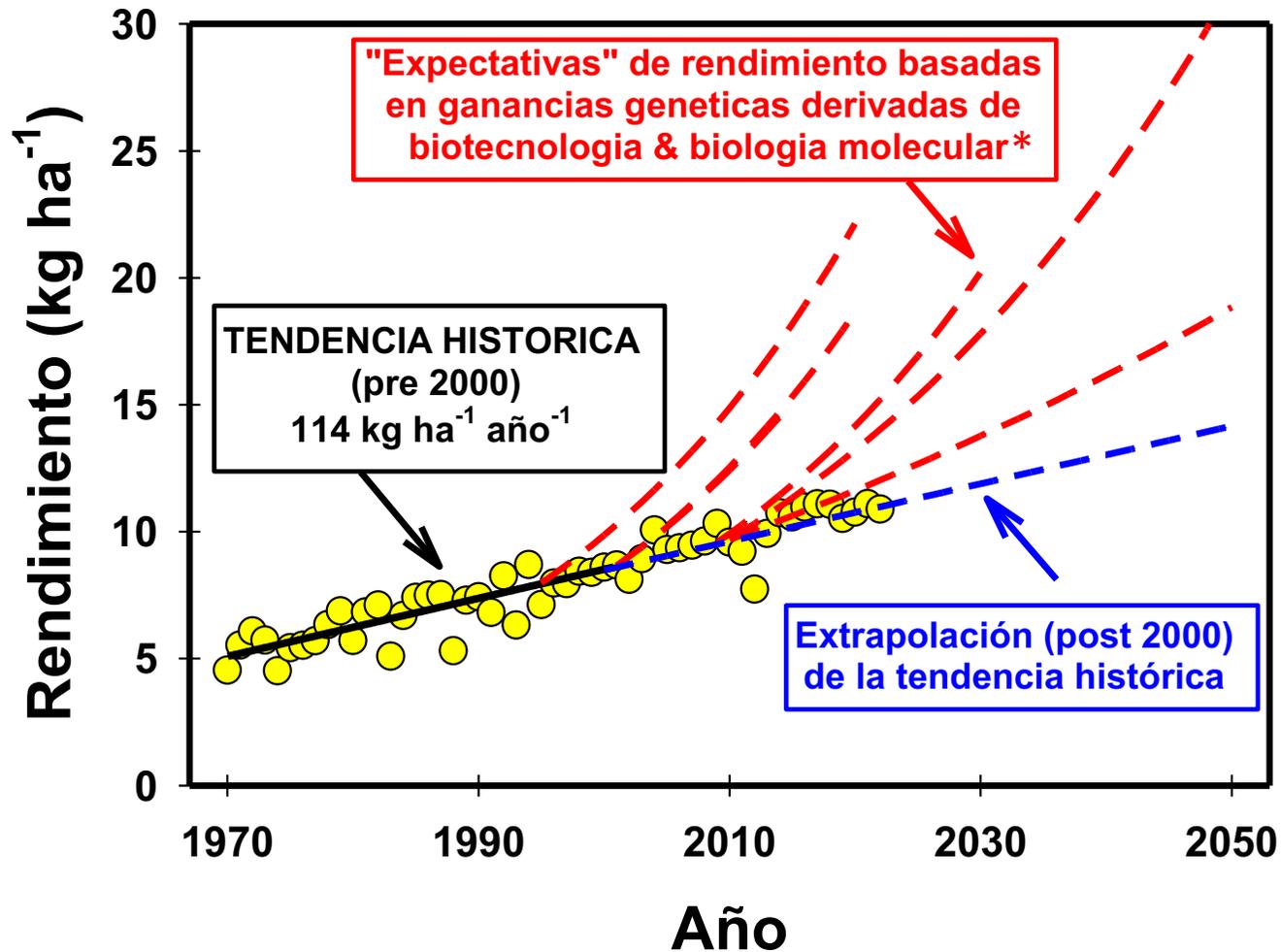


Foto: P Grassini

Basado en: Rizzo G, Monzon JP, Tenorio FA, Howard R, Cassman KG, Grassini P (2022) Climate and agronomy, not genetics, underpin recent maize yield gains in favorable environments. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) 119, 44 e2113629119.

EL REGALO PROMETIDO

La biotecnología y la biología molecular han contribuido a facilitar el control de malezas e insectos, pero no hay evidencia de que hayan acelerado las tasas de ganancia de rendimiento en Estados Unidos.



* Evenson & Rosegrant (1995); Evenson (1999); Nelson (2010); Reilly & Fuglie (1998); Heisey (2009); Long et al (2006); Edgerton (2009); Hertell (2010); Rosegrant et al (2013)

Actualizado de Grassini *et al.* (Nature Communications, 2013)

CAMBIO CLIMATICO: APOCALIPSIS... AHORA?

Climate change on course to hit U.S.
Corn Belt especially hard, study finds

“El cambio climático en camino a golpear duramente al Corn Belt”



CASO DE ESTUDIO: MAIZ REGADO EN NEBRASKA



Foto: P Grassini

Contexto:

2+ millones de hectareas de maiz regado

Alto rinde: 13 t/ha promedio (80-85% del potencial)

Alta estabilidad de rinde (variacion de 5% entre años)

Productores motivados con acceso a informacion & tecnologia

Objetivo:

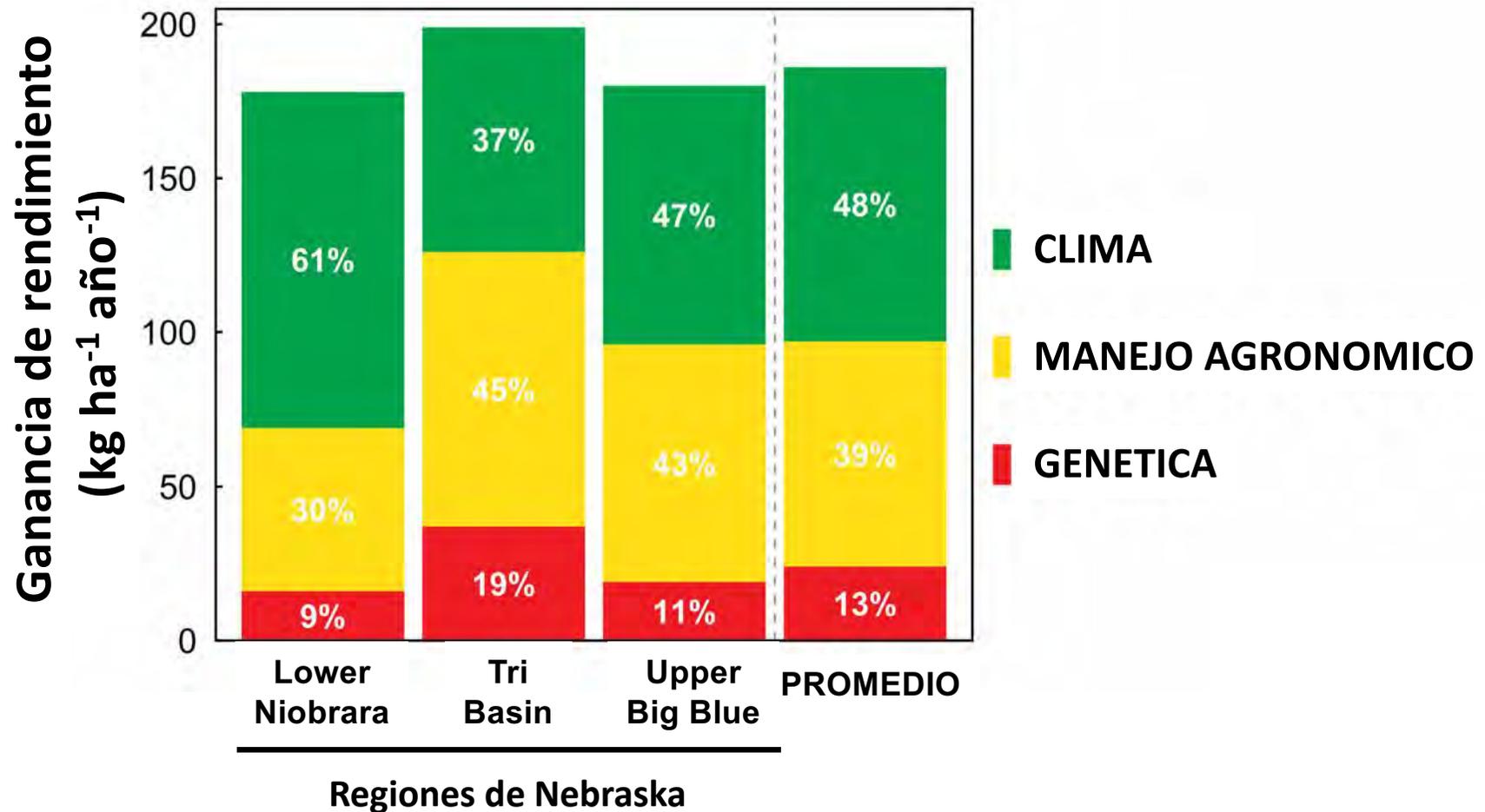
Disectar la contribucion del clima, manejo y genetica a la ganancia de rendimiento reciente

Metodologia:

- Datos de lotes de productores entre 2005-2018 (total: 41,147 combinaciones de lote x año)
- Modelo de simulacion para estimar el efecto del clima sobre la tendencia de rendimiento
- Datos de productores y de la literatura para determinar cambios e impacto del manejo agronomico
- Ganancia genetica derivada de la diferencia entre la ganancia observada y la contribucion de clima + manejo

LA MIRADA DE LOS HEREJES

El rendimiento aumento $186 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. El clima contribuyo a la mitad de la ganancia en rendimiento. La otra mitad de la ganancia es atribuible a cambios en el manejo agronómico (75%) y genéticos (25%)



INCREMENTOS DE RENDIMIENTO POR MANEJO

Los incrementos de rendimiento estuvieron asociados a cambios en la fertilización nitrogenada, densidad de plantas, rotación, y aplicación de fungicida y/o insecticida foliar.

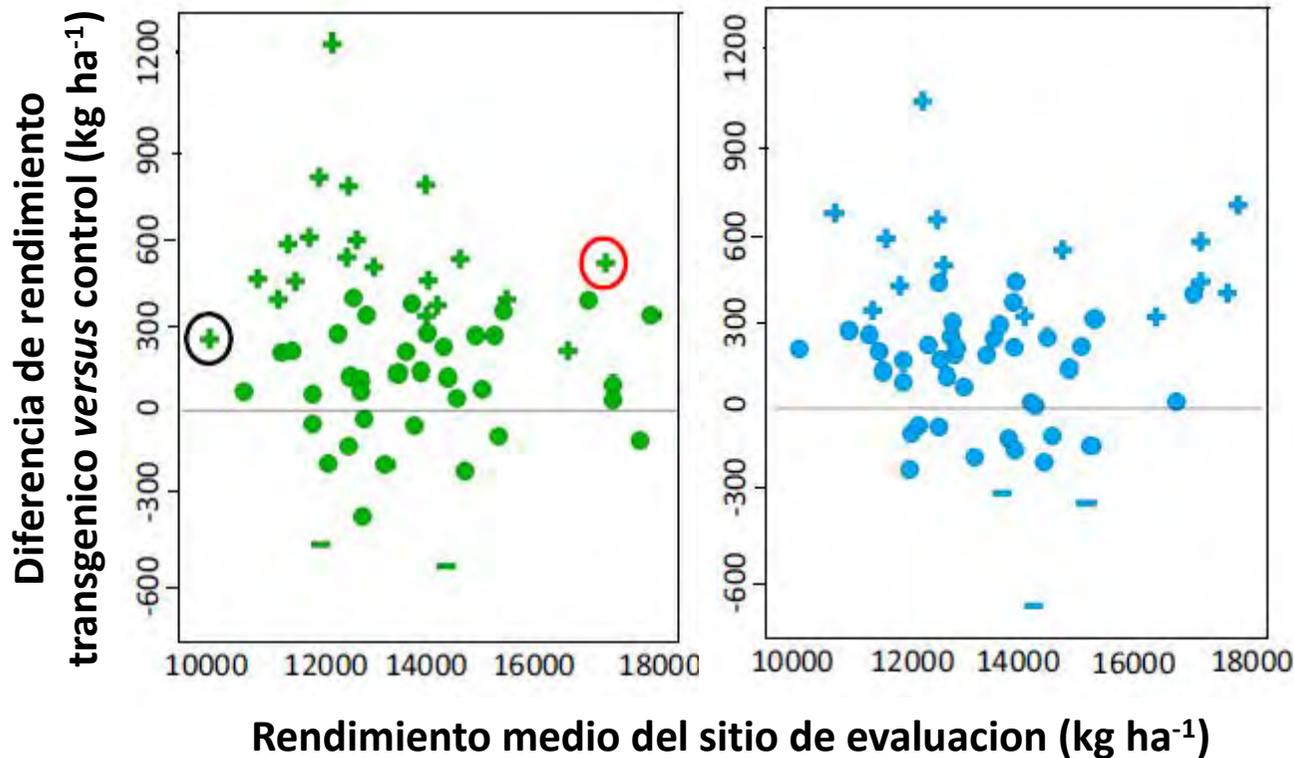
Practica de manejo	Promedio		Cambio	Ganancia de rendimiento kg ha ⁻¹ año ⁻¹
	2005	2018		
Fecha de siembra	Abril 30	Mayo 1	+1	
Densidad de plantas (m ⁻²)	7.4	8.0	+0.6*	+28
Madurez relativa del híbrido (días)	112	112	nil	
Rotación con soja (% lotes)	48	54	+6*	+2
Labranza reducida (% lotes)	33	83	+50*	-13
Fungicida/insecticida foliar (% lotes)	27	61	+34*	+7
Pastoreo del rastrojo (% lotes)	43	43	nil	
Dosis de nitrógeno (kg N ha ⁻¹)	187	220	+33*	+50

* Asteriscos indican diferencias estadísticas significativas entre años ($p < 0.05$) usando *t*-tests or chi-square tests.

Nota: la ganancia de rendimiento atribuida a cada practica fue estimada basada en (i) cambio en dicha practica durante el periodo 2005-2018 determinado basado en datos de productores y (ii) respuesta de rendimiento a dicha practica derivada de literatura basada en experimentos a campo & datos de productores en Nebraska y el Corn Belt durante el periodo 2002-2009.

FUTURO DE LOS SISTEMAS DE ALTO RINDE

Futuras ganancias de rendimiento son desafiantes dada la pequeña brecha de rendimiento que existe. Los beneficios de aproximaciones transgénicas, cuantificados siguiendo evaluaciones experimentales robustas, muestran modestos incrementos en rendimiento (+300 kg ha⁻¹; +2%).



Equivalente a ganancias de rindes derivadas de:

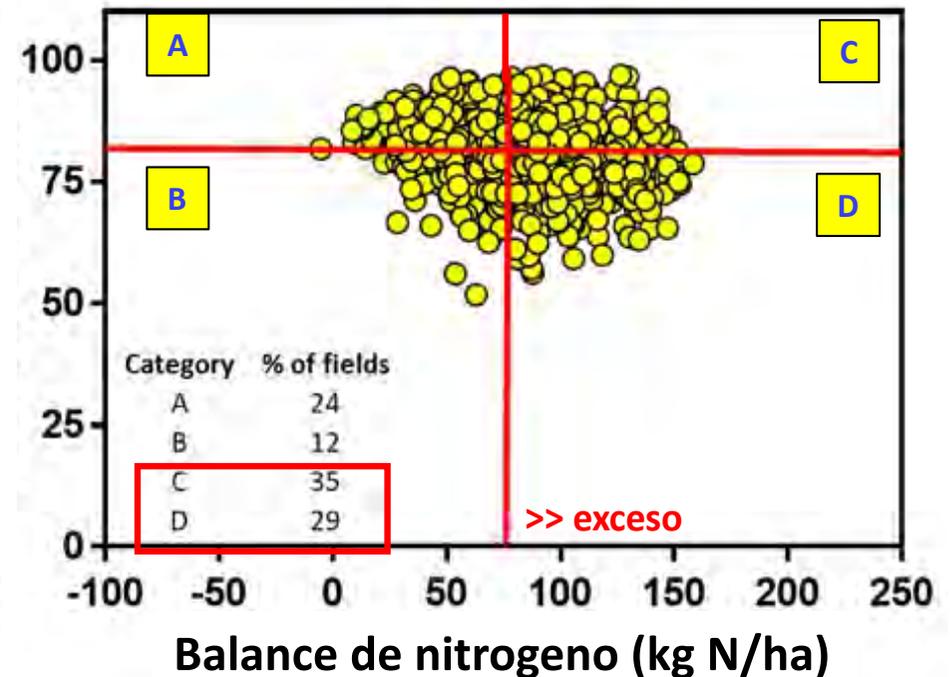
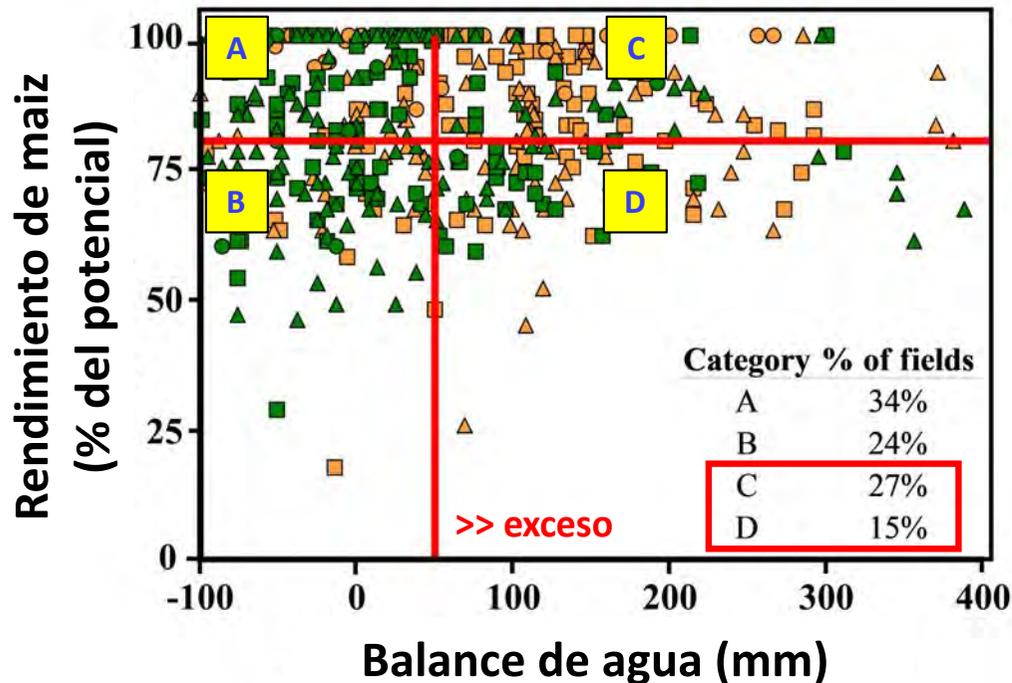
- Transicionar de maíz continuo a rotación maíz-soja
- Aplicación de fungicida y/o insecticida foliar
- Sembrar 10 días mas temprano
- Aumentar 5 kg N absorbido mejorando la eficiencia de recupero del N aplicado actual

Tomado de Wu et al. (PNAS, 2019)

FUTURO DE LOS SISTEMAS DE ALTO RINDE

Oportunidades para incrementar el retorno reduciendo los excesos de riego y nitrogeno, sin reducir o incluso aumentando el rinde, y compatible con el deseo de reducir el impacto ambiental negativo

Cada simbolo representa un lote de productor. El rendimiento se expresa como % del potencial. El balance de agua es la diferencia entre riego aplicado y requerido mientras que el balance de N es la diferencia entre la dosis de N de fertilizante y el N removido con grano a cosecha.



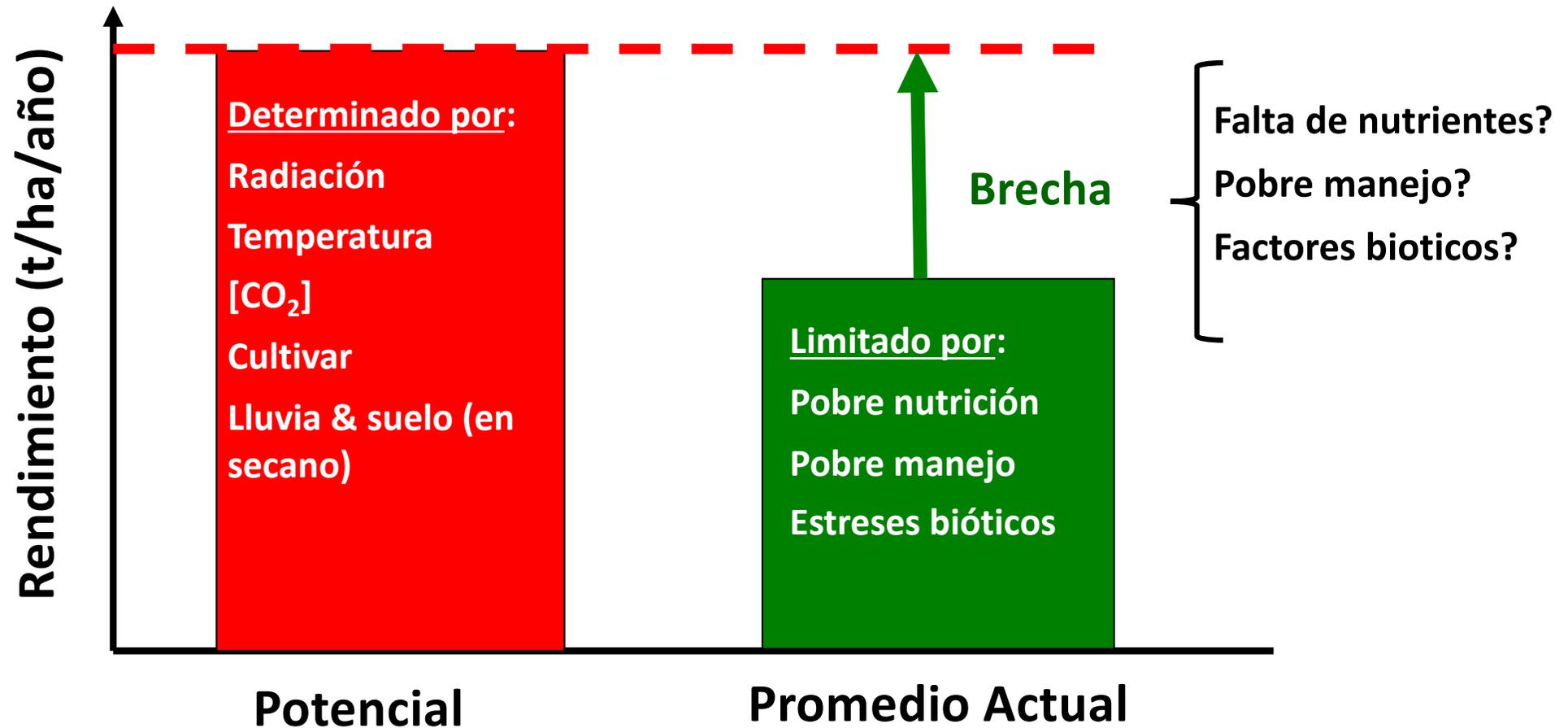
Basado en Gibson *et al.* (Environmental Research Letters, 2019) & Tenorio *et al.* (Agriculture Ecosystems & Environment, 2018)

‘Aprendiendo de los productores’: aumentando el rendimiento y la ganancia en lotes de soja en Estados Unidos vía manejo agronómico



Basado en: Andrade J, Mourtzinis S, Rattalino Edreira JI, Conley SP, Gaska J, Kandekele HJ, Lindsey LE, Naeve S, Nelson S, Singh MP, Thompson L, Specht JE, Grassini P (2022) Field validation of a farmer-data approach to close soybean yield gaps in the US North Central region. *Agricultural Systems* 200, 103434.

CAUSAS DE LAS BRECHAS



Adaptado de van Ittersum *et al.* (*Field Crops Res.*, 2013)



Limitaciones de la investigación agronómica ‘clásica’

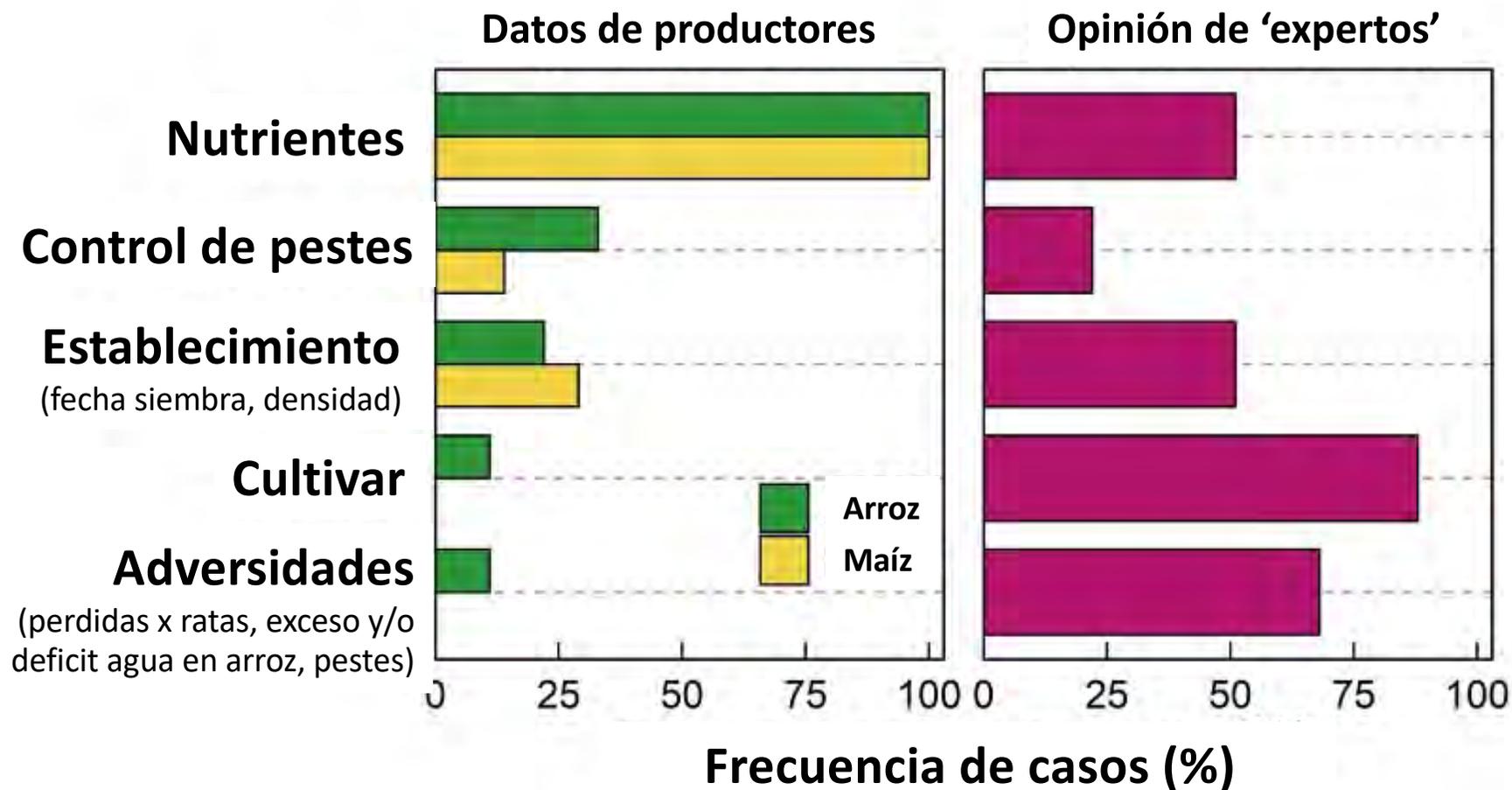
- Limitada capacidad para evaluar simultáneamente múltiples factores e interacciones
- Requiere un alto número de sitios & años para representar variación en clima y suelo.
- Dificultades para transferir resultados a ‘escala’



Fotos: P. Grassini, K.G. Cassman, J. Mercau, & J. Wendt

CAUSAS DE BRECHAS: REALIDAD *VERSUS* PERCEPCION

Comparación de causas de brechas en arroz y maíz en Indonesia determinadas via análisis de datos de productores (izquierda) *versus* opinión de investigadores & extensionistas (derecha)

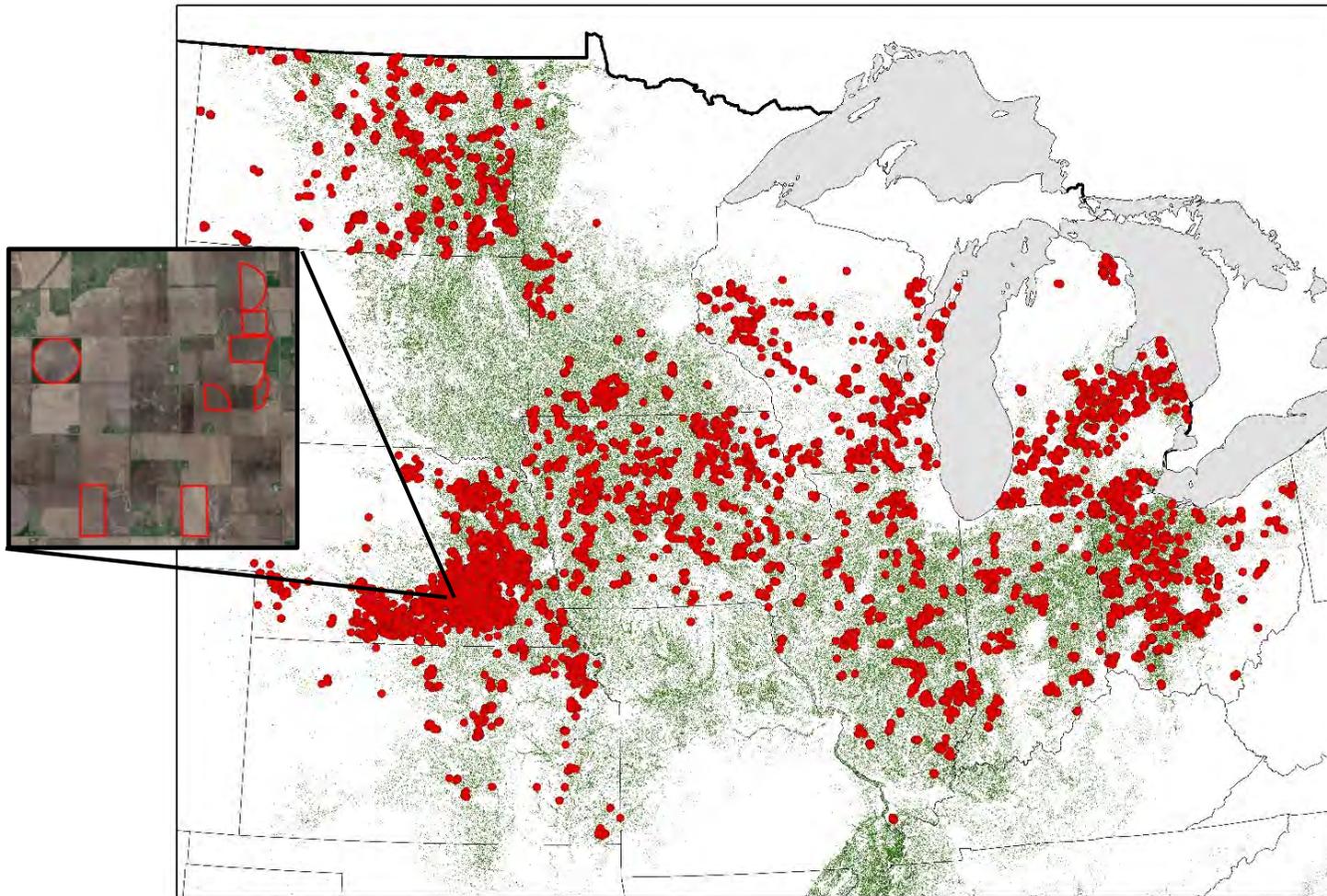


Hipótesis: Podemos usar datos de productores para guiar el descubrimiento de practicas de manejo que consistentemente conducen a altos rendimientos para un determinado contexto de clima y suelo



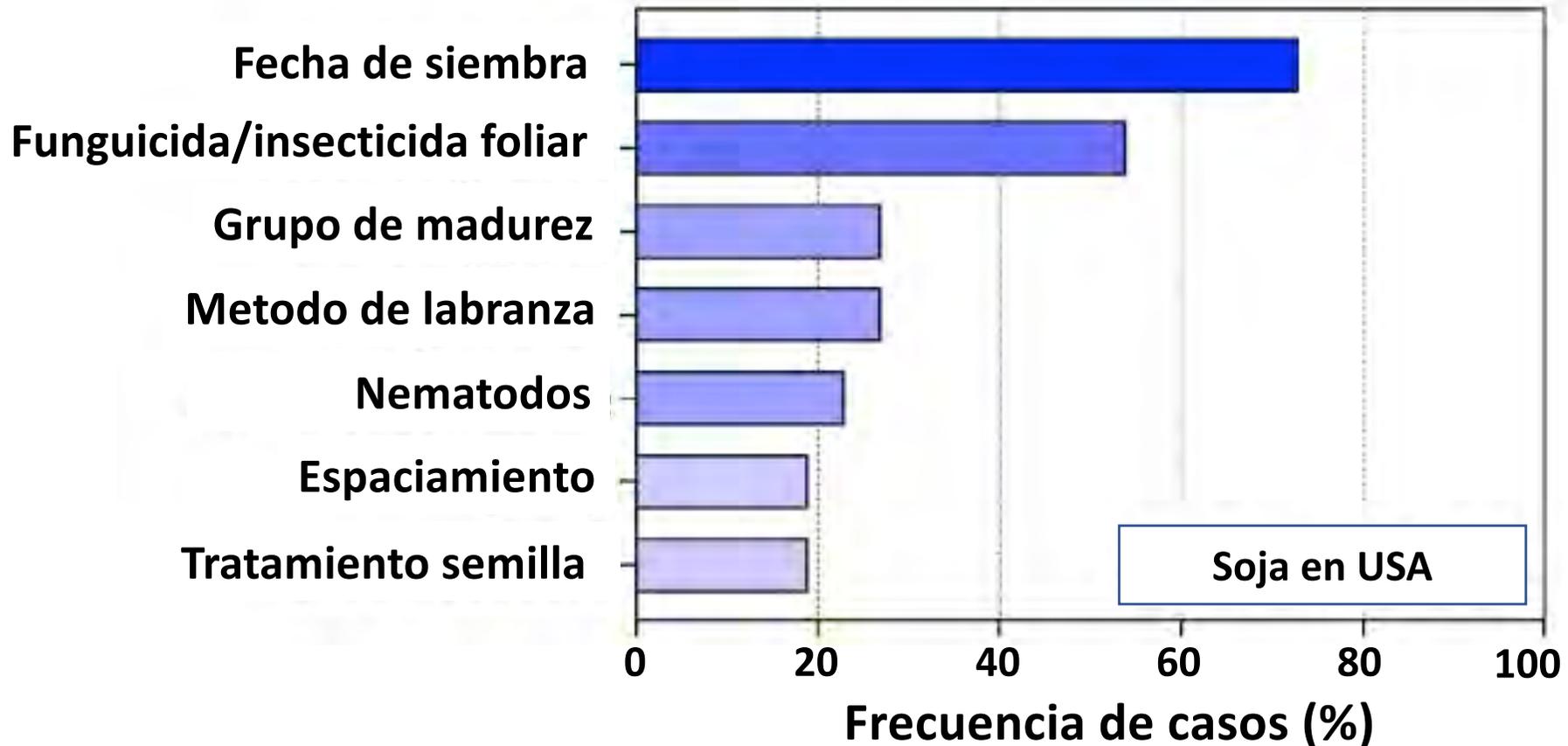
SOJA EN ESTADOS UNIDOS

Datos de rendimiento y manejo para 8,000 lotes sembrados con soja en 2014-2017, incluyendo cerca de 200,000 ha



CAUSAS DE BRECHAS

Análisis de causas de brechas de rendimiento basado en datos de productores, agrupados de acuerdo a clima y suelo, usando métodos estadísticos no paramétricos (ej., árboles de regresión).



VALIDACION A CAMPO

Comparación de un sistema 'mejorado' a través del análisis de datos de productores (siembra temprana, ajuste de grupo de madurez, aplicación de funguicida foliar, menor densidad) *versus* manejo de 'referencia' (prácticas dominantes de los productores) en 150 lotes comerciales en el 'Corn Belt' durante tres campañas

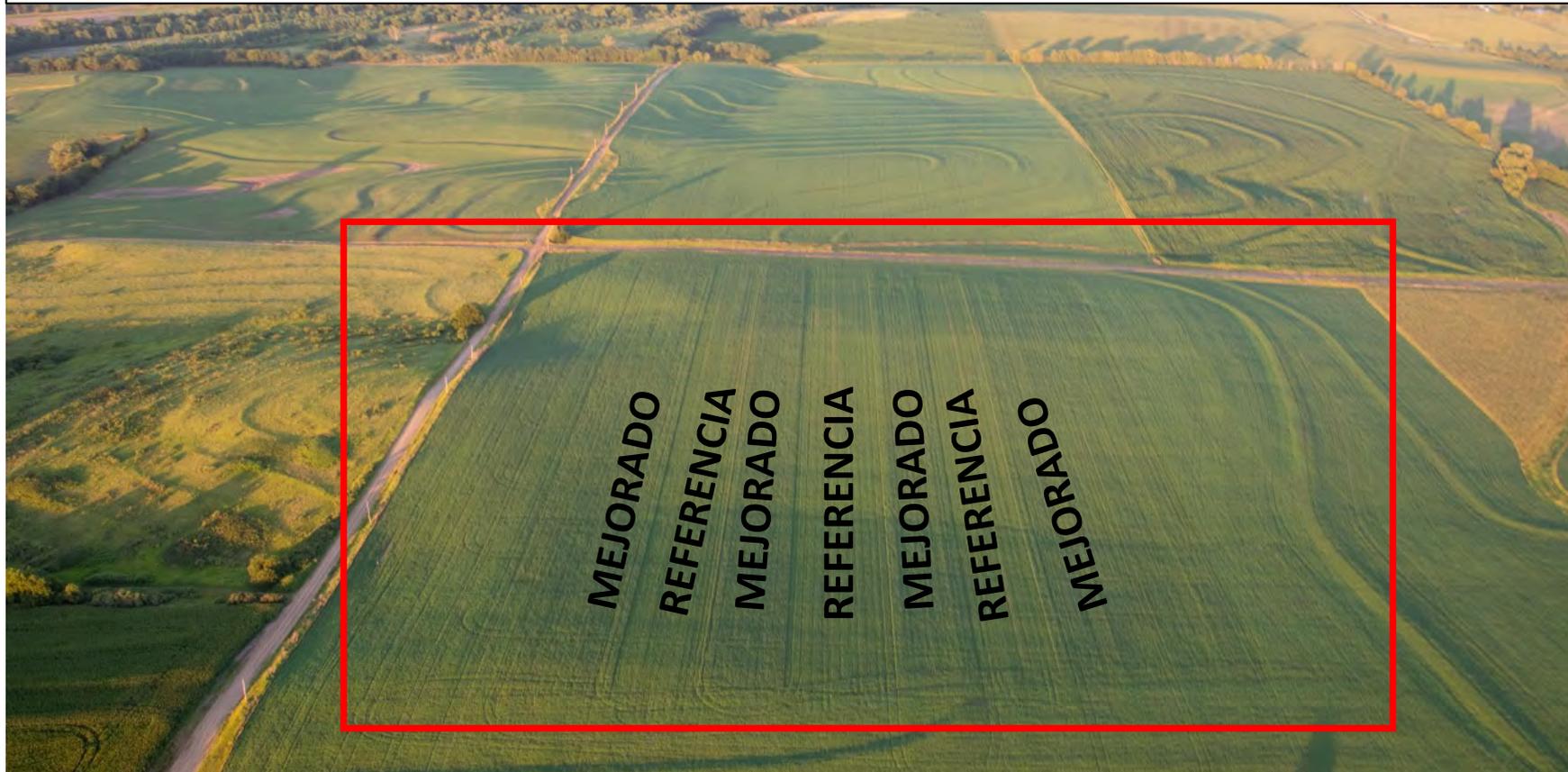
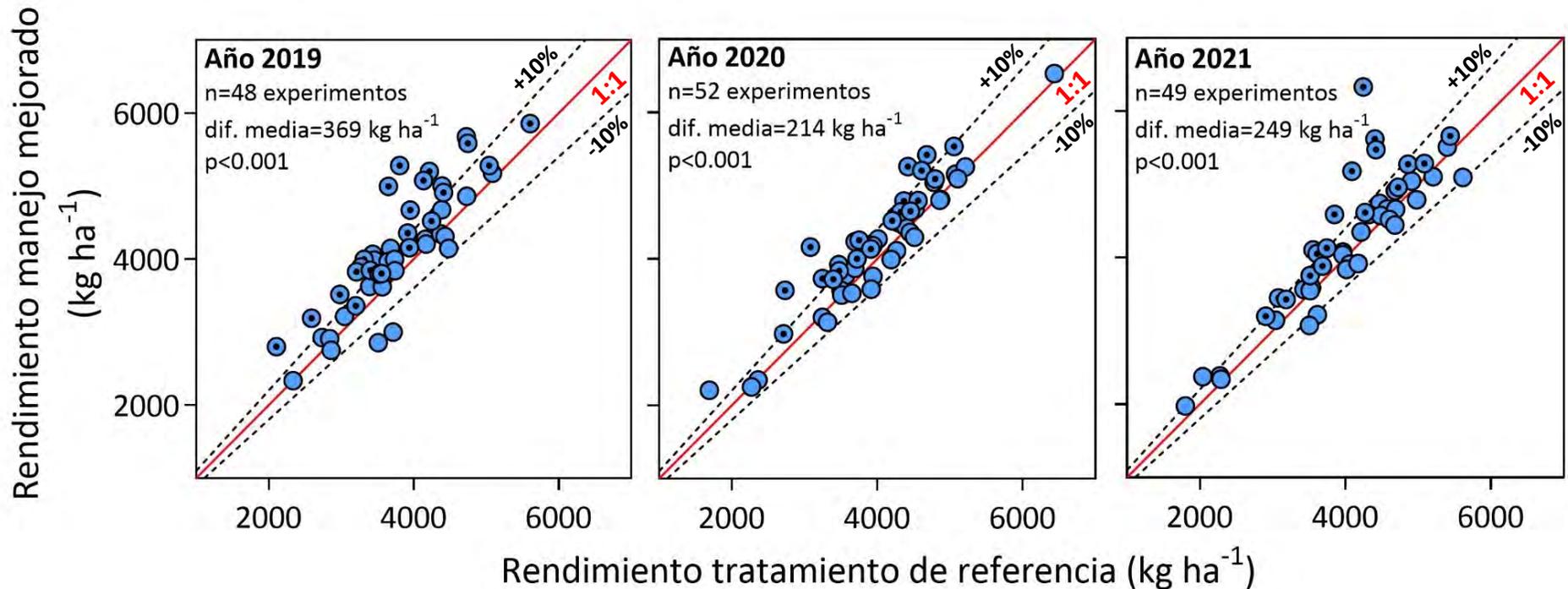


Photo: Laura Thompson

IMPACTO PRODUCTIVO Y ECONÓMICO

El tratamiento con manejo mejorado generó una respuesta de rendimiento equivalente a 40% de la brecha explotable, incrementando la ganancia neta (+76 US\$ ha⁻¹), con bajo riesgo productivo, económico, y ambiental.



“Pan para hoy, hambre para mañana”: minado de nutrientes en sistemas de producción de cultivos en Argentina

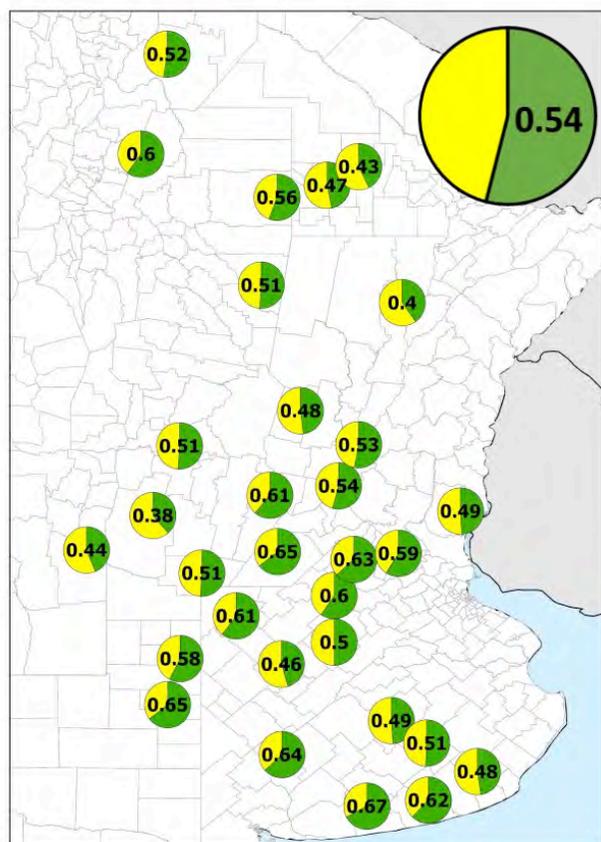


Basado en: Monzon JP et al (en preparación), con contribución de Grassini, F.A. Tenorio & L. Puntel (Universidad de Nebraska-Lincoln); J. Brihet, S. Gayo & D. Regeiro (ReTAA); J. Andrade (Universidad de Buenos Aires); N. Reussi Calvo (CONICET); A. Grasso & M.F. Gonzalez San Juan; F. Garcia & G. Studdert (UNMdP); H. Sainz Rozas, F. Aramburu-Merlos, F. Andrade, M. Taboada, F. Salvagiotti, & J. Mercau (INTA); E. Viglizzo & P. Calviño (asesores privados); F. Bert (IICA y ex CREA); J.M. Ferreira (Bayer); Ignacio Ciampitti (Kansas State University).

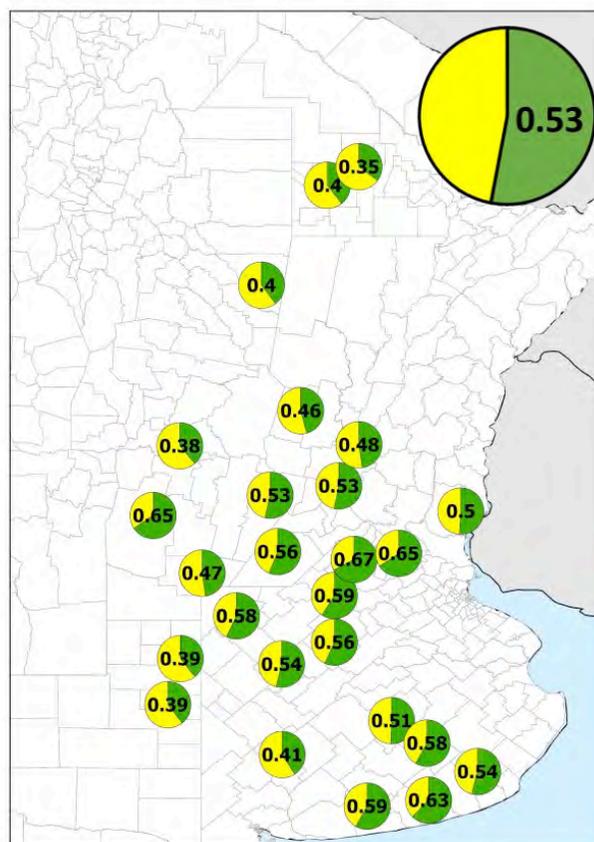
BRECHAS EN ARGENTINA

El rendimiento promedio representa la mitad (trigo y maíz) y dos tercios (soja) del potencial

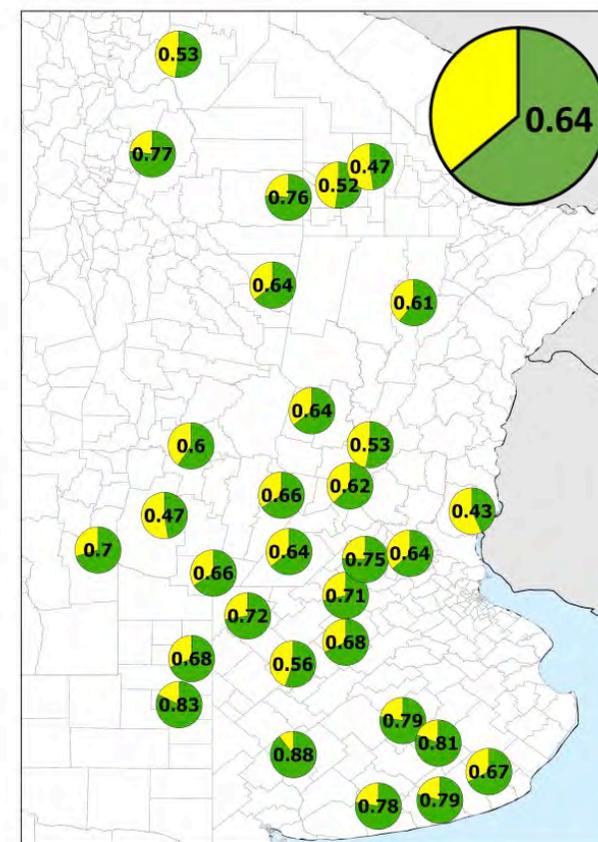
MAIZ



TRIGO

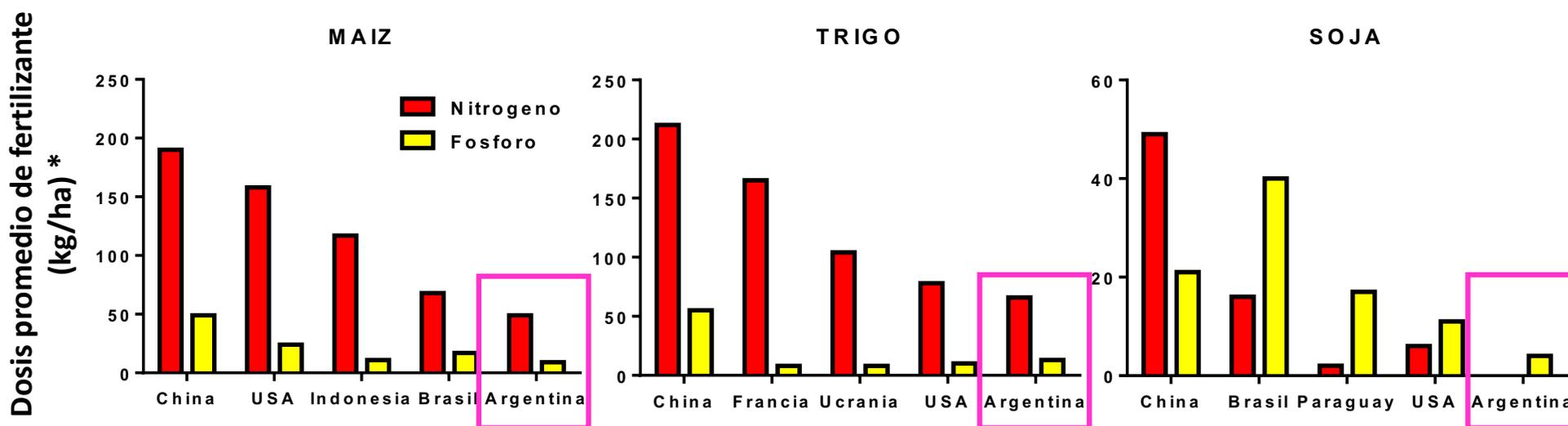


SOJA



Basado en Jose Andrade *et al.* (en preparacion)

Hipótesis: parte de la brecha de rendimiento en Argentina es atribuible a una inadecuada nutrición de los cultivos



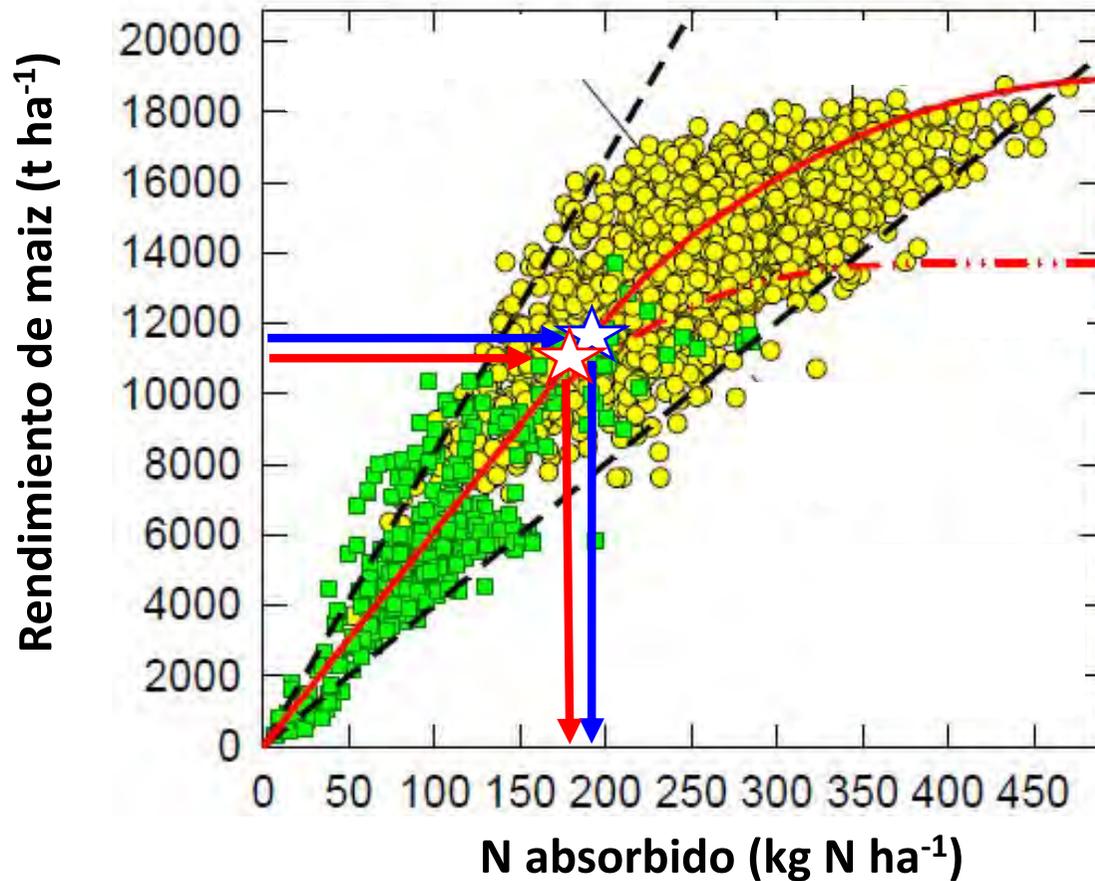
Fuente: IFA (2022); valores expresados en nutriente elemental

REQUERIMIENTO DE NUTRIENTES

El requerimiento de nutrientes incrementa con el nivel de rendimiento.

Ejemplo de relación rinde de maíz vs. N absorbido por el cultivo - datos colectados en Nebraska (NE) & SE Asia (SEA)

Eficiencia media: 60 kg grano por kg N
(pero decrece con mayor rendimiento)



ARGENTINA

Rendimiento alcanzable:
11.5 t/ha (Andrade, en preparación)

N absorbido requerido:
192 kg N/ha

N aplicado actualmente:
50 kg N/ha (IFA, 2022)

APLICACION DE NITROGENO EN MAIZ

Nitrógeno

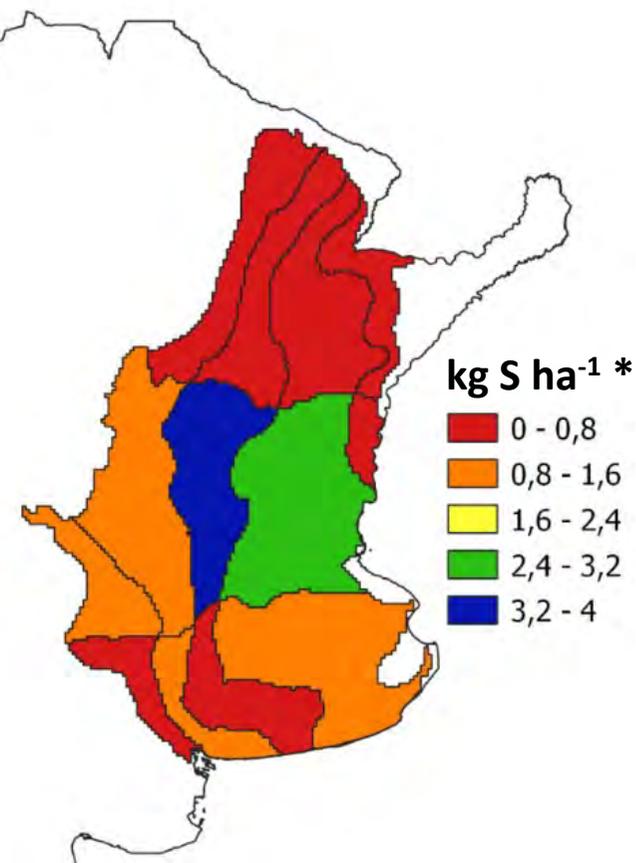
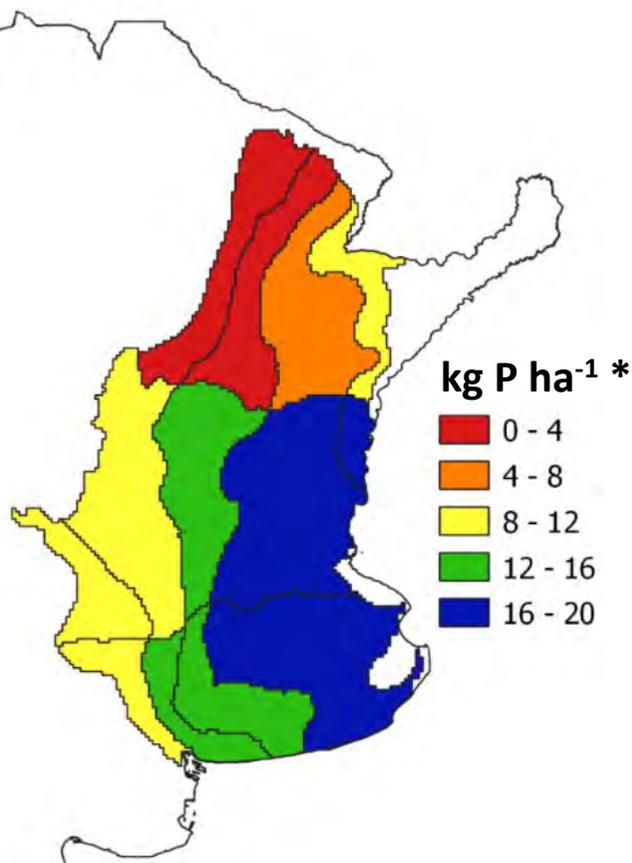
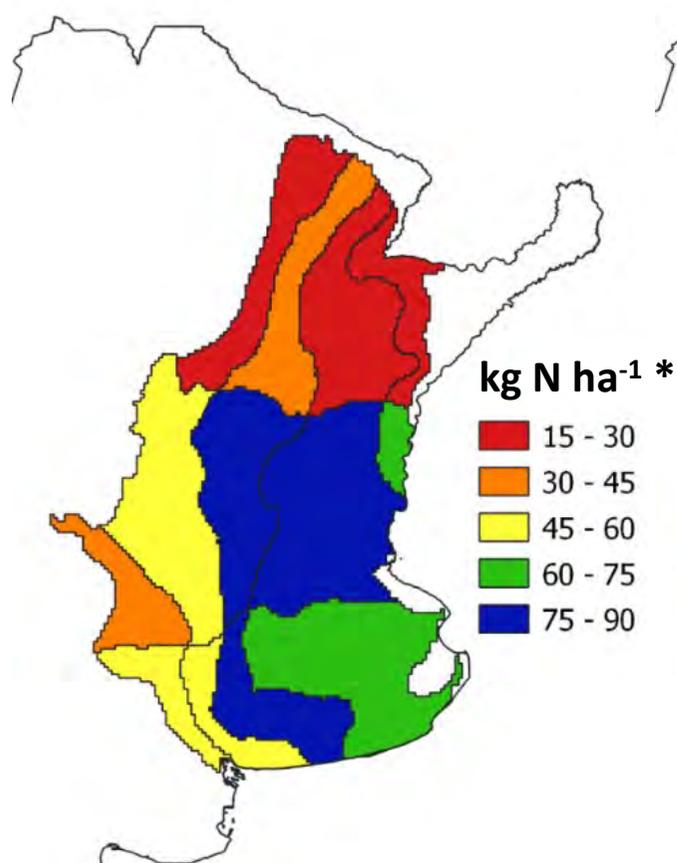
(promedio: 59 kg N ha⁻¹)*

Fósforo

(promedio: 12 kg P ha⁻¹)*

Azufre

(promedio: 2 kg S ha⁻¹)*

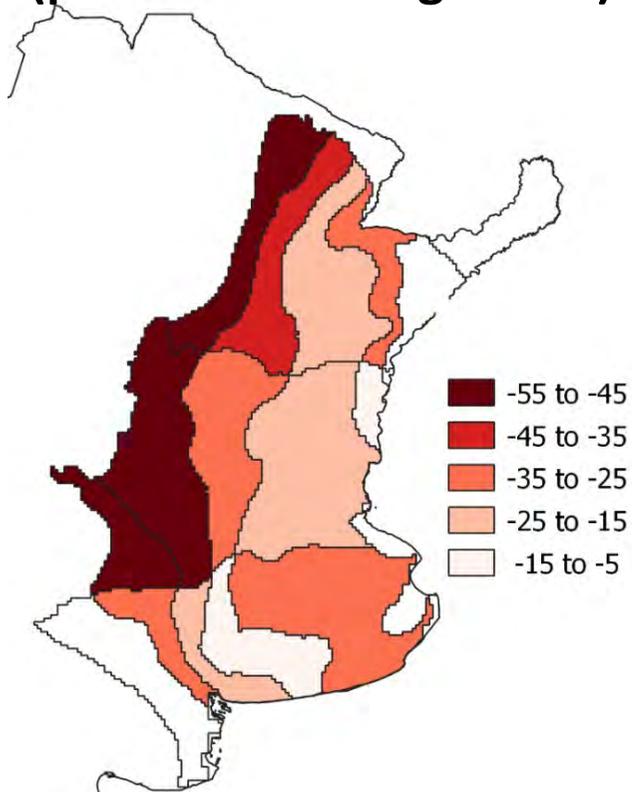


* Promedio para 3 campañas (2016/17, 2017/18, 2018/19), incluye maíz temprano y tardío (ReTAA, Bolsa de Cereales, Buenos Aires).

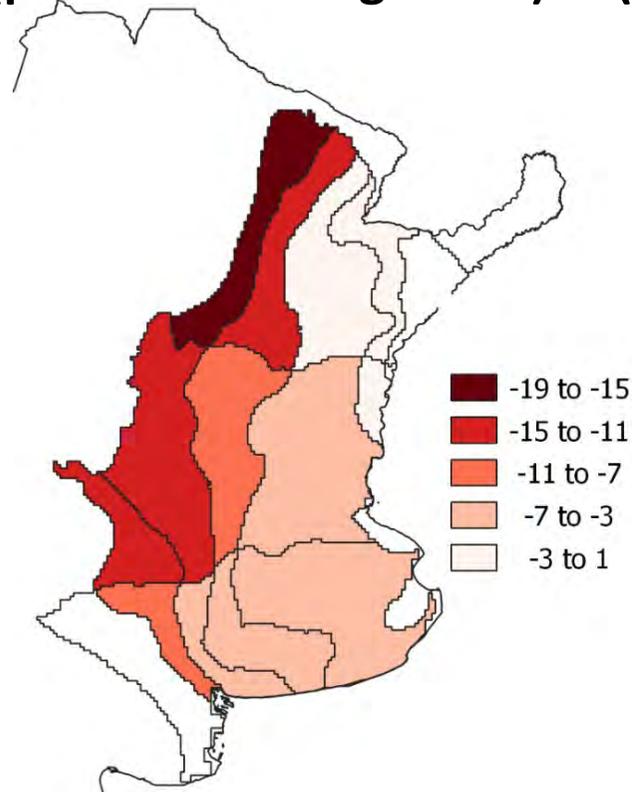
BALANCE DE NITROGENO PARA MAIZ

Balance nutrientes = nutrientes de fertilizante – remoción de nutrientes con grano

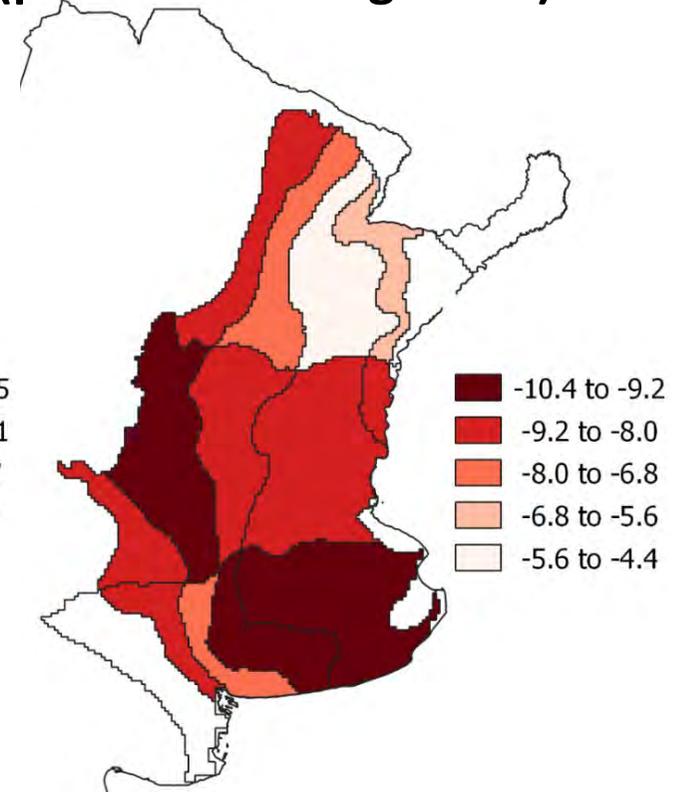
Nitrógeno *
(promedio: -35 kg N ha^{-1})



Fósforo *
(promedio : -9 kg P ha^{-1})



Azufre *
(promedio : -9 kg S ha^{-1})



* Promedio para 3 campañas (2016/17, 2017/18, 2018/19), incluye maíz temprano y tardío (ReTAA, Bolsa de Cereales, Buenos Aires).

BALANCES DE NUTRIENTES EN CONTEXTO

Los balances de nutrientes en Argentina son más negativos que en África. La oferta actual de nutrientes **NO es suficiente** para cerrar la brecha de rendimiento y balances negativos indican minado del suelo.

	Rinde maíz (t ha ⁻¹)	Dosis N fertilizante (kg ha ⁻¹)	Remoción de N con grano (kg ha ⁻¹)	Balace de N (kg ha ⁻¹)
Argentina	7.7	59	92	- 33
Africa	2.0	8	24	- 16
USA	10.9	160	131	+ 30

Basado en datos de ReTAA y Secretaria de Agricultura para Argentina, e IFA, USDA-NASS & FAOSTAT para Africa y USA

LA 'BRECHA' DE NUTRIENTES

Cerrar la brecha de rendimiento, sin comprometer la calidad del suelo, va a requerir de un aumento substancial en la oferta de nutrientes

Cultivo	Rinde actual (t ha ⁻¹)	Rinde alcanzable (t ha ⁻¹)*	Dosis actual nutrientes (kg ha ⁻¹)*			Requerimiento extra de nutrientes (kg ha ⁻¹ **)		
			N	P	S	N	P	S
Maíz	7.7	11.5	59	12	2	+80	+20	+14
Trigo	3.6	5.4	55	11	1	+48	+8	+8
Soja	2.9	3.7	-	5	2	-	+14	+9

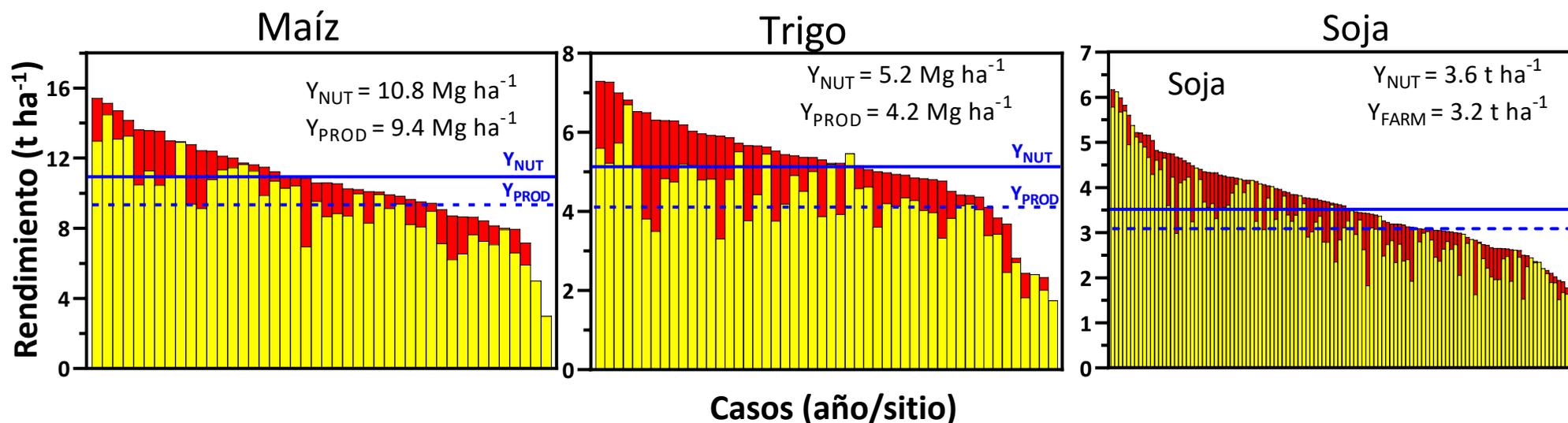
* Rendimiento alcanzable estimado como 80% del rendimiento potencial. Fuente: Jose Andrade (en preparación).

** La cantidad de nutrientes adicional requerido para cerrar la brecha fue calculado teniendo en cuenta (i) el requerimiento de nutrientes necesario para lograr el rendimiento alcanzable, y (ii) la dosis de nutriente actual. El requerimiento de nutrientes necesario para lograr el rendimiento alcanzable fue calculado basado en un criterio de reposición.

CERRANDO LA BRECHA DE NUTRIENTES

Mayor aporte de nutrientes *vía* fertilizante generó respuestas promedio de rinde de +15% (maíz), +22% (trigo) y +13% (soja), equivalentes a cerrar la mitad de la brecha explotable, y (2X) costo efectivas

Las barras amarillas representan el rendimiento obtenido en el tratamiento con la dosis actual de fertilizante del productor (PROD). La respuesta de rendimiento generado con agregado adicional de nutrientes (NUT) se muestra en rojo. Cada barra corresponde a un ensayo, los cuales se ordenan de mayor (izquierda) a menor rendimiento (derecha). Líneas horizontales indican los promedios para cada tratamiento.



MENSAJES PARA LLEVARSE A CASA

- **NO** estamos en una trayectoria sustentable a nivel global en términos de alcanzar seguridad alimentaria y proteger el ambiente
- **PRIMERO LO PRIMERO:** aumentar los rendimientos y reducir el impacto ambiental negativo, con metas explícitas y medibles
 - Rendimiento: 80% potencial
 - Reducción del impacto ambiental negativo donde es alto
 - Mantener o mejorar la capacidad de los suelos de suplir nutrientes & agua
- Priorizar opciones con alta probabilidad de contribuir a las metas de intensificación sustentable en un tiempo razonable y a escala relevante
- Cuantificar las brechas de rendimiento e identificar sus causas es un paso esencial para guiar programas de I+D y políticas de gobierno
 - Análisis de datos de productores puede guiarnos hacia las causas de las brechas
- Lo esencial **NO** es invisible a los ojos: existen opciones para cerrar la brecha de manera costo efectiva via tecnologías existentes complementadas por una fuerte dosis de conocimiento agronómico y creatividad.
- **Argentina:** programas que tengan como objetivo aumentar el rendimiento, haciendo un uso sustentable del recurso suelo, van a requerir de un reconocimiento explícito de la necesidad de mejorar la oferta de nutrientes



Gracias!

Patricio Grassini (pgrassini2@unl.edu)