



# Perspectivas para una intensificación sustentable del arroz a nivel global & local

**Patricio Grassini, PhD**

**Profesor de Agronomía**

**Universidad de Nebraska-Lincoln (Estados Unidos)**

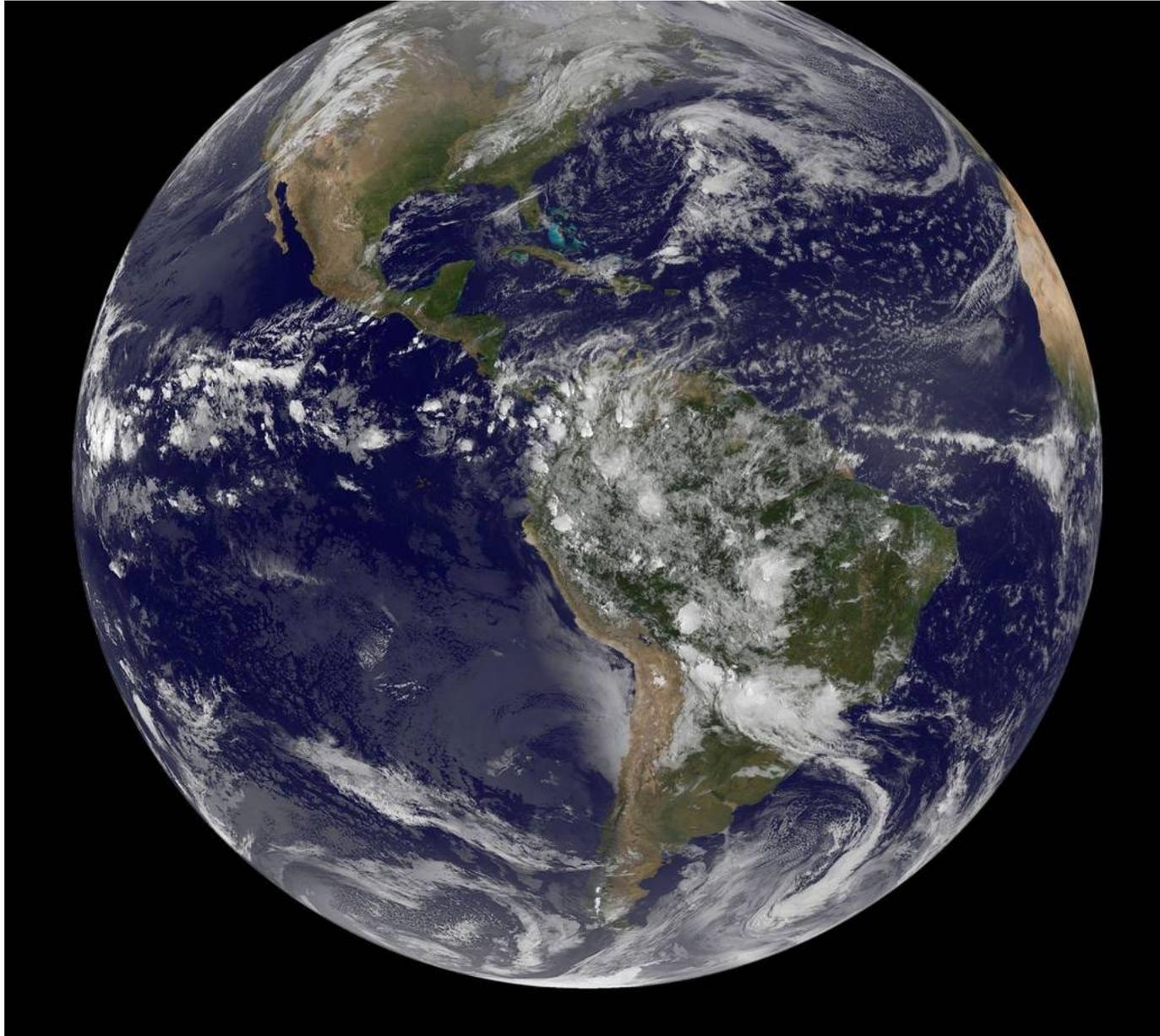
[pgrassini2@unl.edu](mailto:pgrassini2@unl.edu)

# UNA INVITACION A PENSAR A FUTURO

---

- **Tendencias macro en la agricultura mundial**
- **Intensificación sustentable**
- **Rendimiento potencial y brechas**
- **Análisis de brechas y eficiencias a nivel global para arroz**
- **Cerrando brechas vía manejo agronómico a nivel local: ejemplos para Indonesia y Brasil**
- **Mensajes finales**

# EL MUNDO DEL NUEVO MILENIO



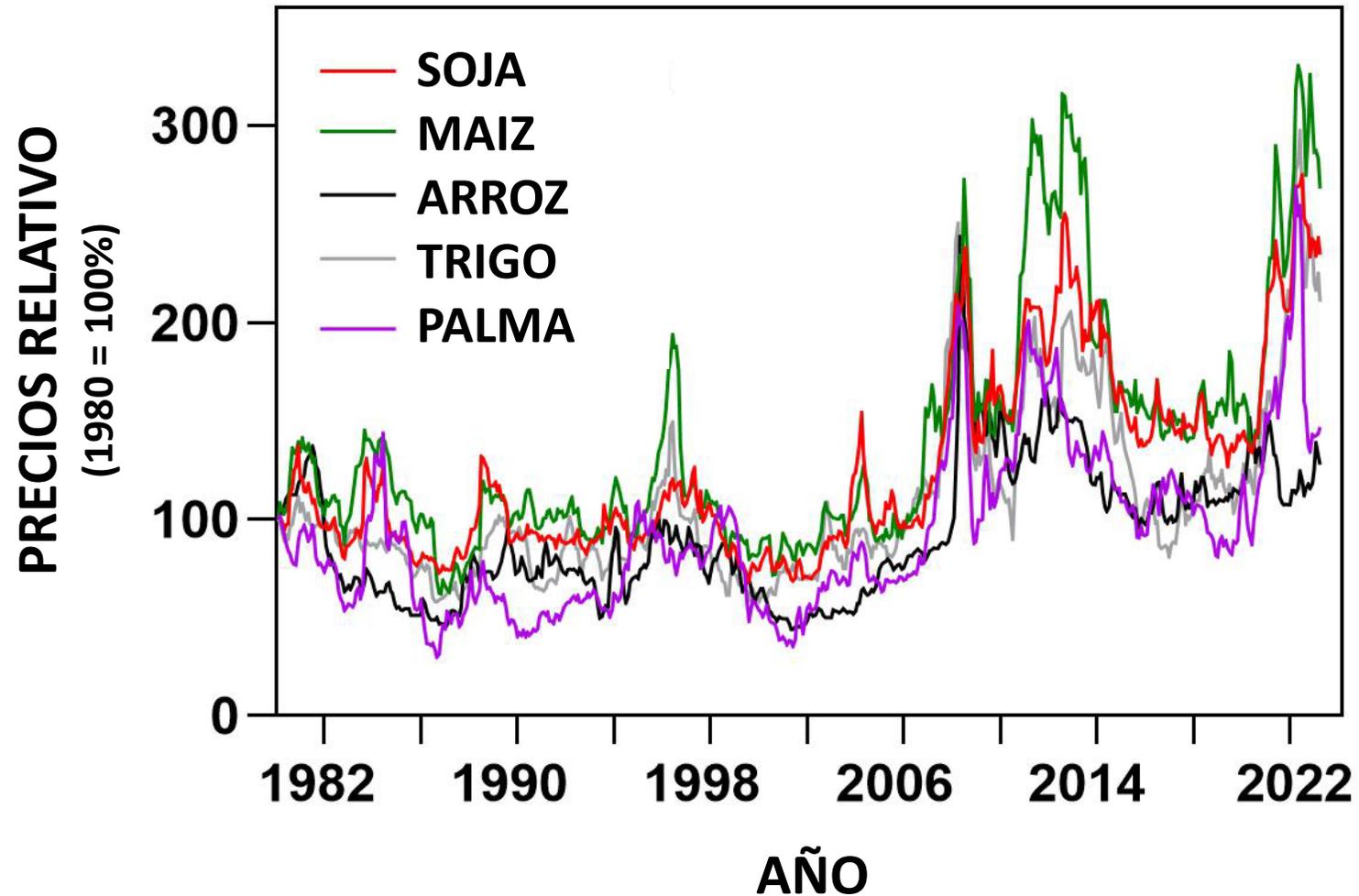
# EL MUNDO DEL NUEVO MILENIO

---

- **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.)
- **Las ganancias de rendimiento NO son suficientes para satisfacer la demanda futura en la tierra cultivada actualmente**

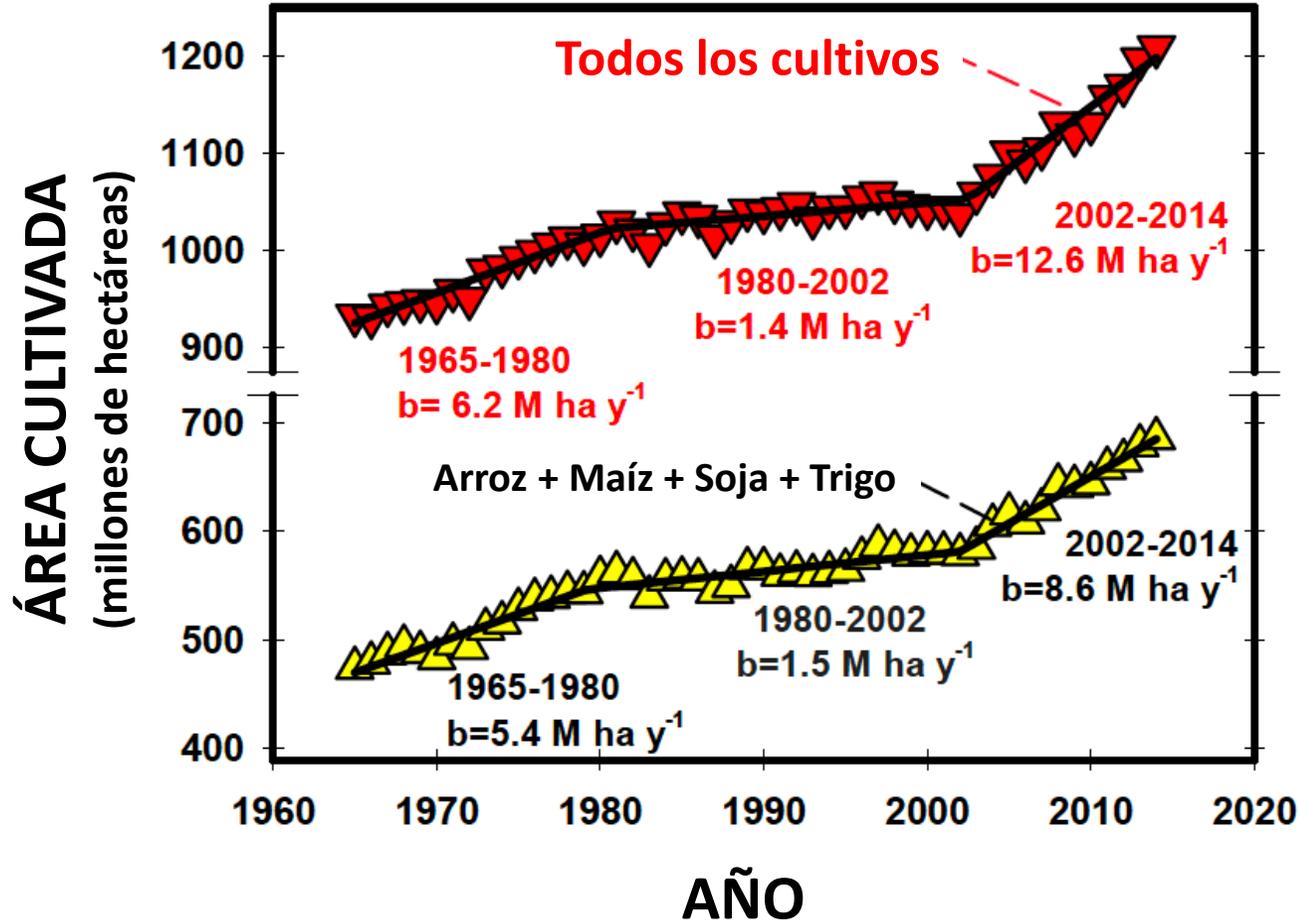
# TENSION ENTRE DEMANDA Y OFERTA

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 áreas no aptas para agricultura



Foto: P Grassini

## Conversión de tierra agrícola para uso residencial e industrial

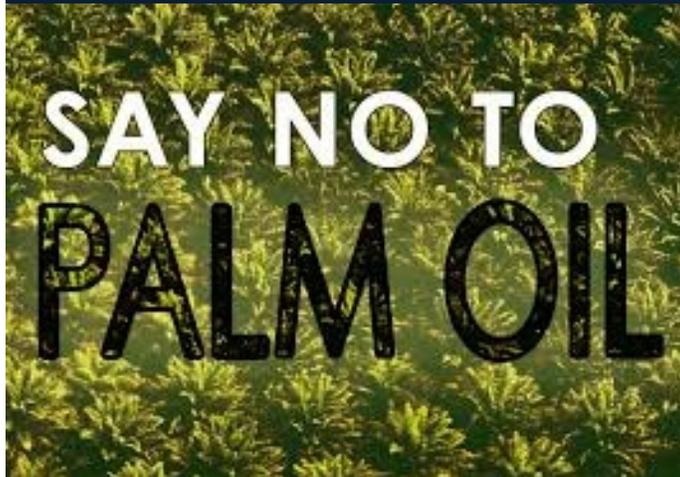


(Photo: Nurwulan Agustiani, BB Padi)

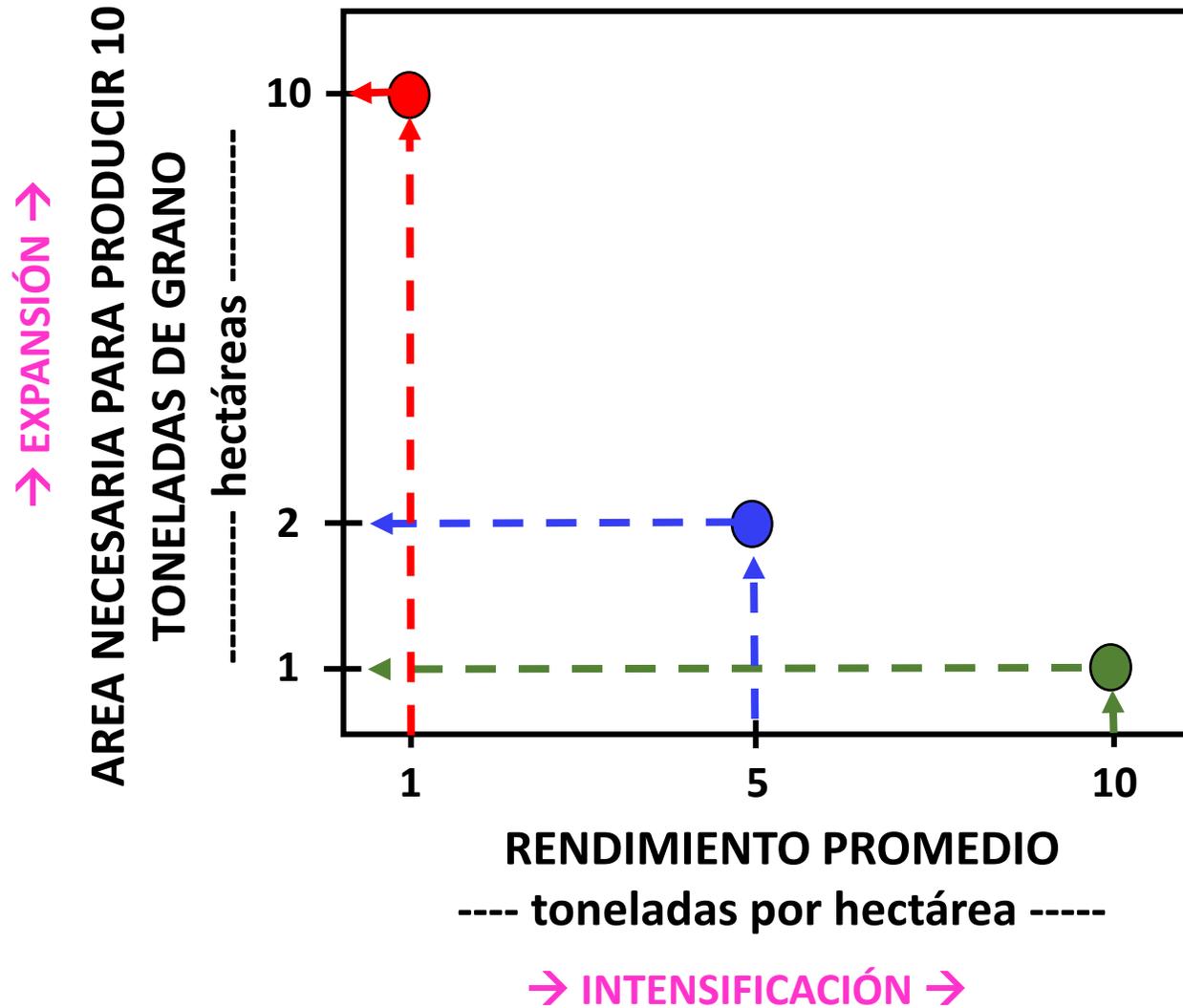
ENVIRONMENT

## 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."



# RENDIMIENTO Y REQUERIMIENTO DE AREA



**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 rendimientos cercanos a 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

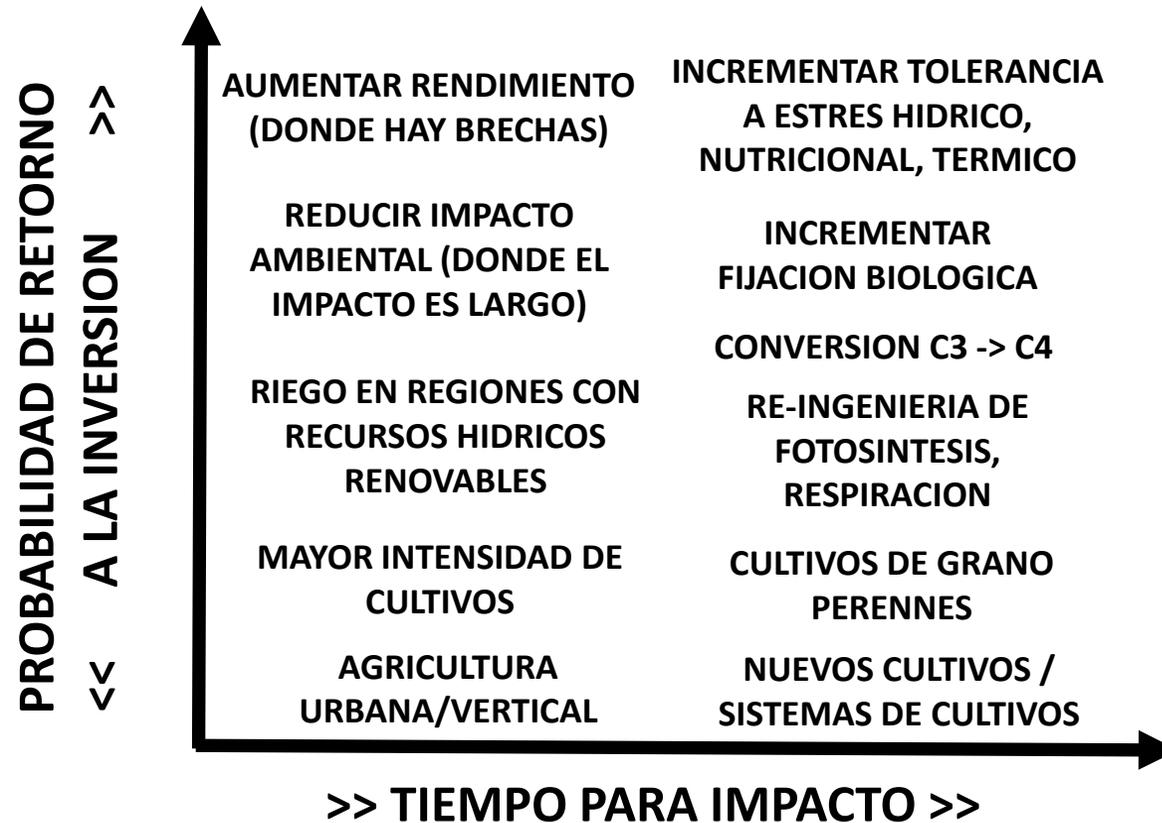
---

**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**
- **Rentable**
- **Reducción en gases de efecto invernadero por unidad de producto**
- **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)**

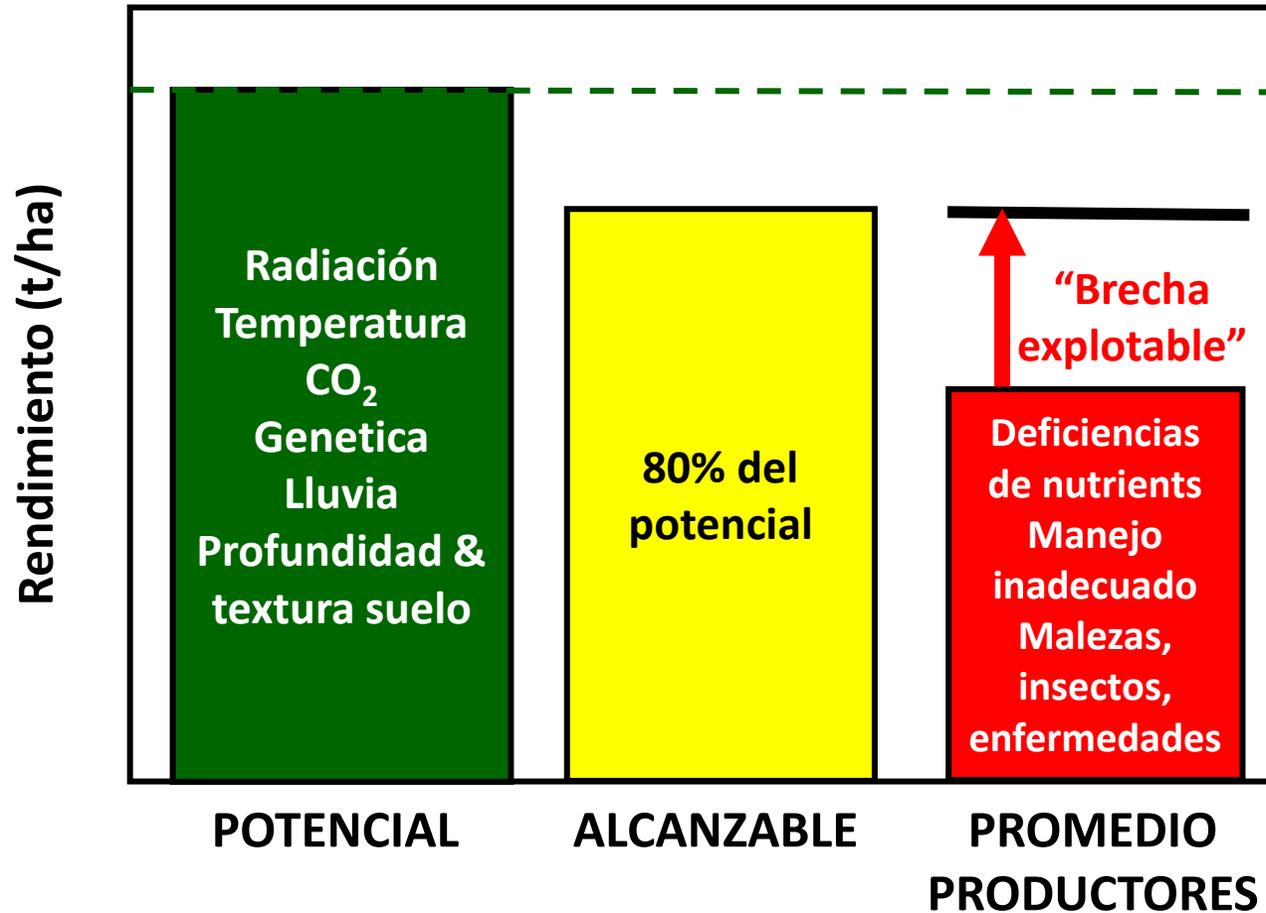
# COMO ALCANZAR LAS METAS DE INTENSIFICACIÓN?

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*

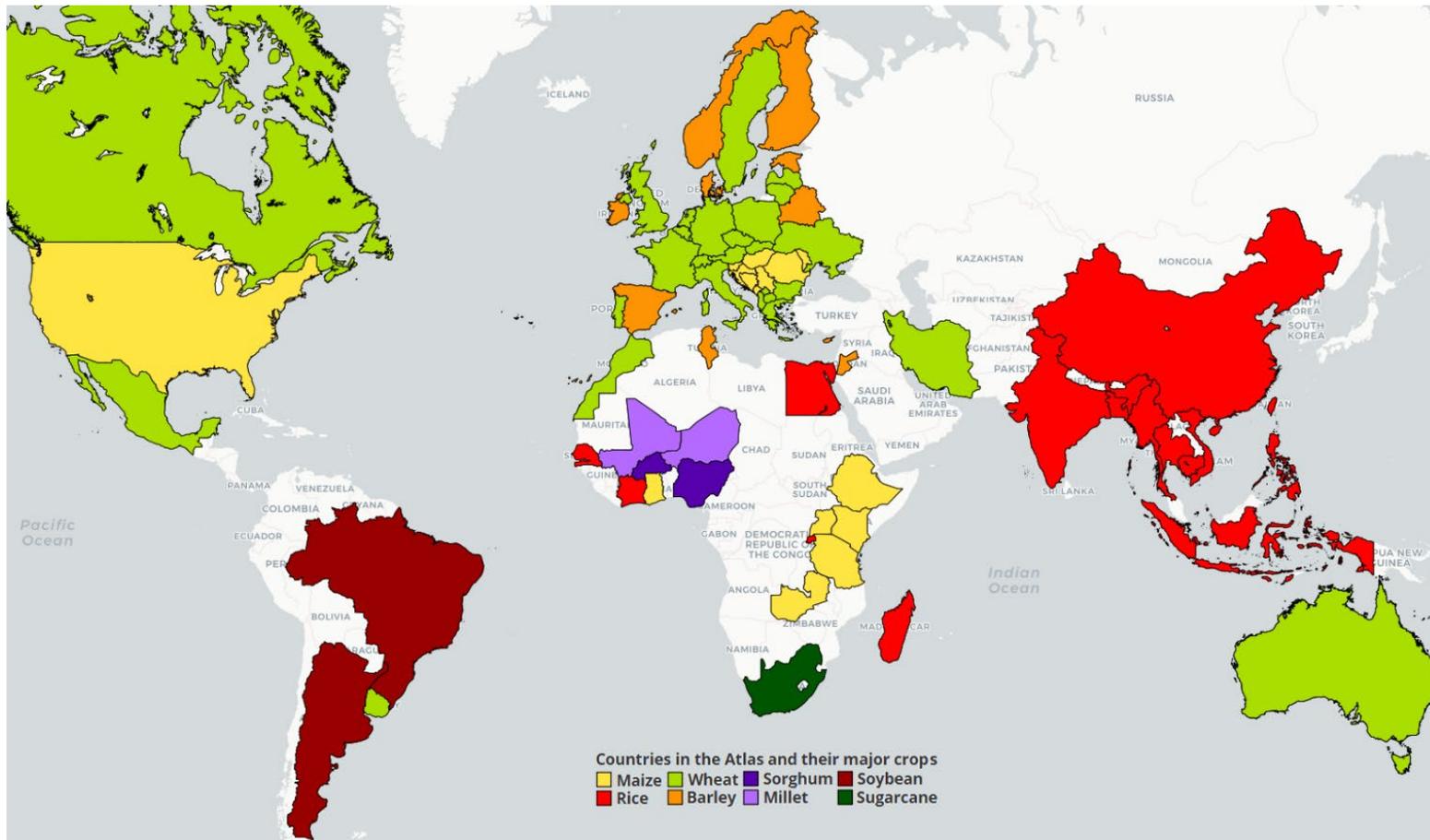
# RENDIMIENTO POTENCIAL Y BRECHAS



\* Alcanzar 80% del rendimiento potencial es un objetivo razonable para productores con acceso a mercados, tecnología e información. Arriba de ese umbral, incrementos de rendimiento son más difíciles y suelen ser no viables desde una perspectiva económica, logística y/o ambiental

# ATLAS DE BRECHAS DE RENDIMIENTO (GYGA)

Iniciativa global para estimar el potencial productivo en la tierra cultivada actualmente, desarrollado para 75 países y 13 cultivos



Disponible online en: [www.yieldgap.org](http://www.yieldgap.org)

# COMO USAR EL ATLAS?

---

1. Estimaciones de brechas a nivel local y global, las cuales sirven para determinar la producción potencial en la tierra cultivada actual
2. Soporte para informar inversiones en investigación y desarrollo para aumentar la producción agrícola y monitorear su impacto en el tiempo



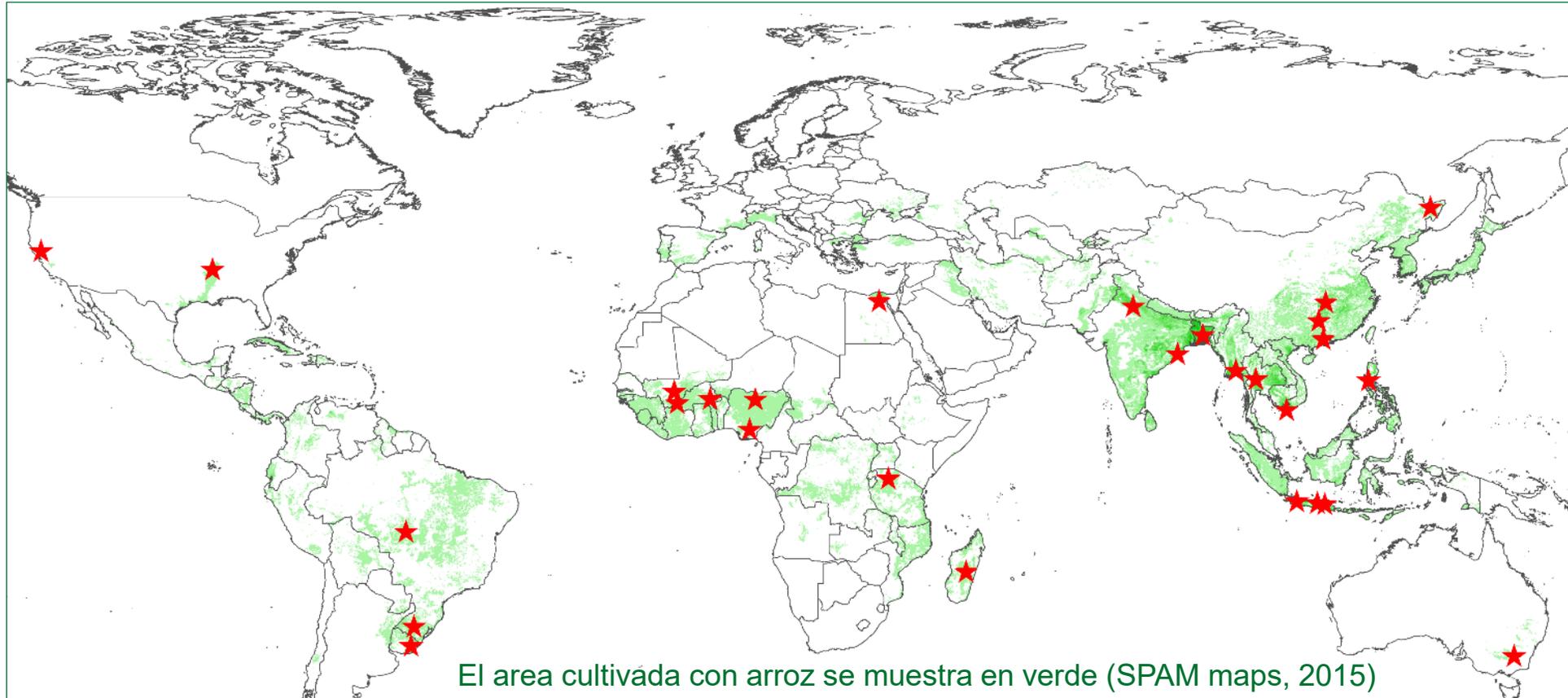
Indicador no oficial para monitor el gol de desarrollo #2 (cero hambre):

<https://www.unsdsn.org/monitoring-sdg2-with-global-yield-gap-atlas>

3. Base para entender las causas de las brechas, posibles soluciones y para determinar eficiencia en el uso de los recursos, el impacto de cambio climático y la capacidad exportadora o de auto-suficiencia de los países.

# ANALISIS GLOBAL DE BRECHAS Y EFICIENCIAS

18 países que incluyen 86% y 88% del area y produccion global de arroz, respectivamente



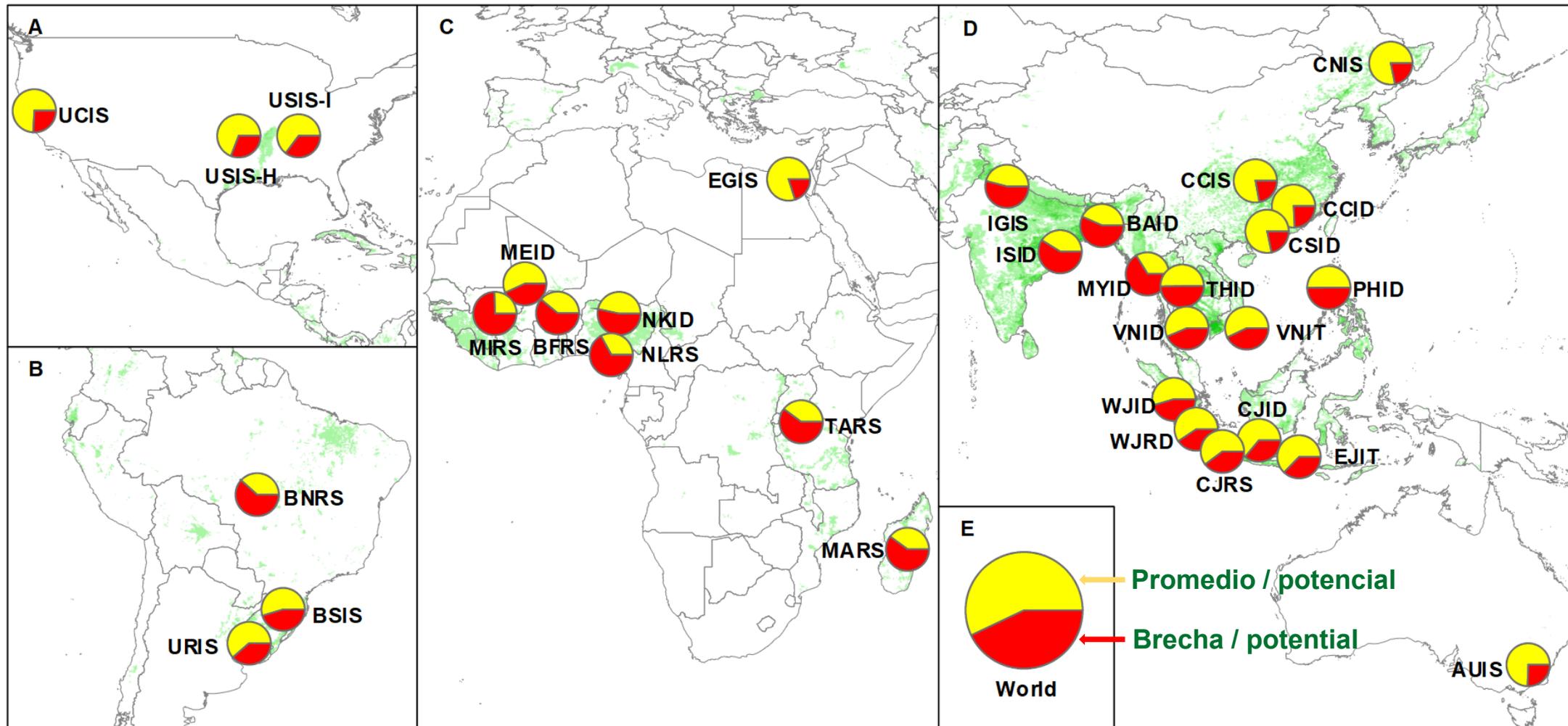
Yuan S, Linqvist BA, Wilson LT, Cassman KG, Stuart AM, Pede V, Miro B, Saito K, Agustiani N, Aristya VE, Krisnadi LY, Zanon AJ, Heinemann AB, Carracelas G, Subash N, Brahmanand PS, Li T, Peng S, Grassini P (2021) Sustainable intensification for a larger global rice bowl. Nature Communications 12, 7163



Photo: P. Grassini & Alencar Zanon

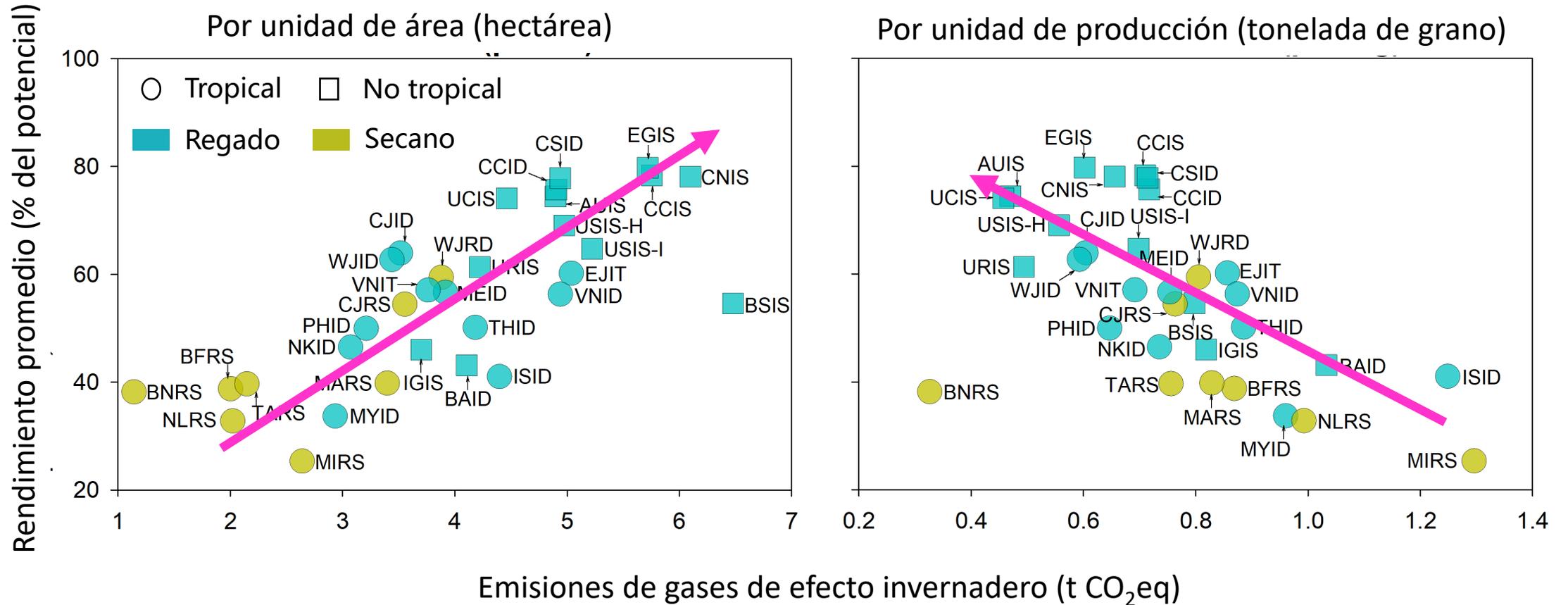
# BRECHAS DE RENDIMIENTO

La brecha global representa 57% del rendimiento potencial, con gran variación entre países: largas (Africa, sur de Asia), intermedias (SE Asia, Uruguay + Brasil), y chicas (EEUU, Australia y China).



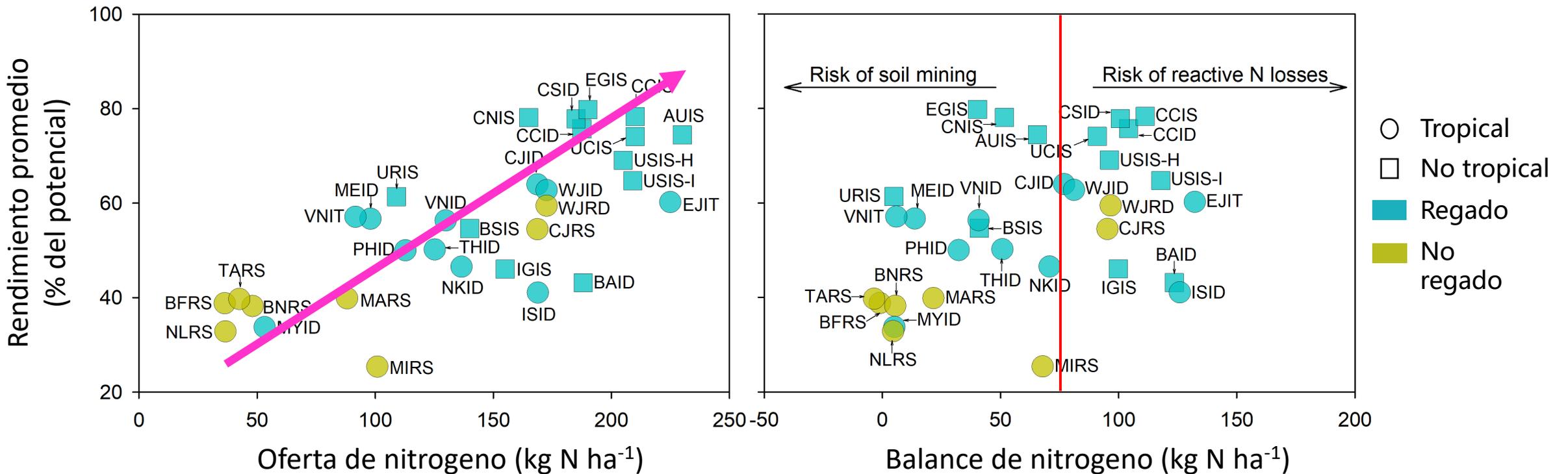
# RENDIMIENTO & EMISIONES

Sistemas de alto rendimiento tienen mayores emisiones, pero menores por tonelada de grano



# RENDIMIENTO & NITROGENO

El objetivo no debería ser minimizar la oferta de nutrientes, sino maximizar la respuesta de rendimiento, manteniendo el balance dentro de un rango que minimice el exceso



# IDENTIFICANDO PUNTOS DE PARTIDA

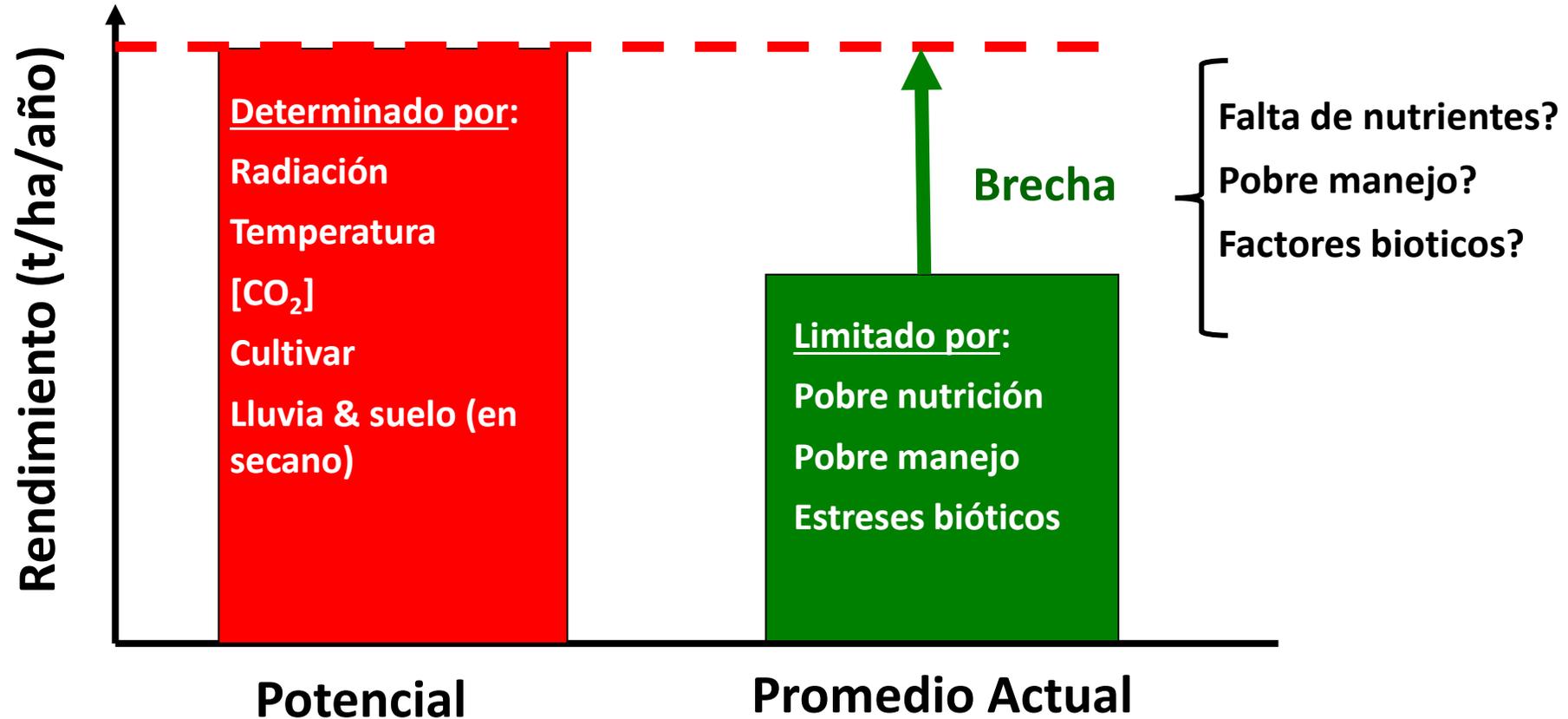
Identificar donde las brechas son largas y donde las ineficiencias son mayores es esencial para identificar oportunidades de intensificación sustentable y como invertir acordemente

Escenario	Producción de arroz (Mt)	Exceso de N (Mt)	
Base	456		
Potencial	602		
Diferencia	+146 (+32%)		

\* Cierre de brecha a 75% del potencial en 19 sistemas con rendimiento bajos en relación al potencial (< 60%) y simultanea reducción del balance de N a 75 kg N ha<sup>-1</sup> en los sistemas con exceso de N (balance >100 kg N)

\*\* Cerrar la brecha a 75% del potencial en 19 sistemas con rendimiento bajos en relación al potencial (< 60%) manteniendo el balance de N por tonelada de grano actual

# NIVEL LOCAL: POR DONDE EMPEZAR?



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

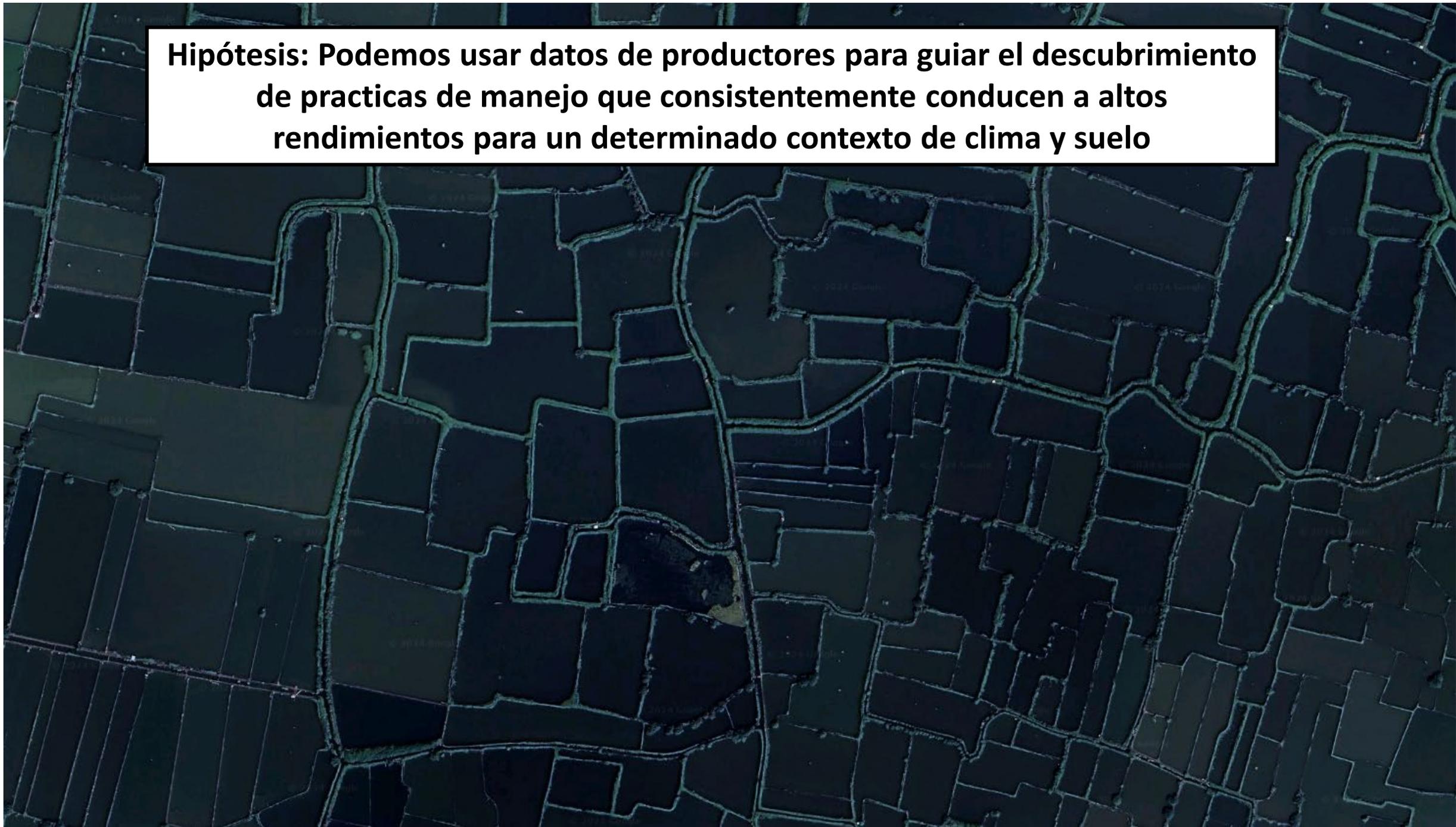


## Limitaciones de la investigación agronómica ‘clásica’

- 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’



**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**





## EJEMPLO: ANALISIS DE BRECHAS PARA ARROZ EN INDONESIA

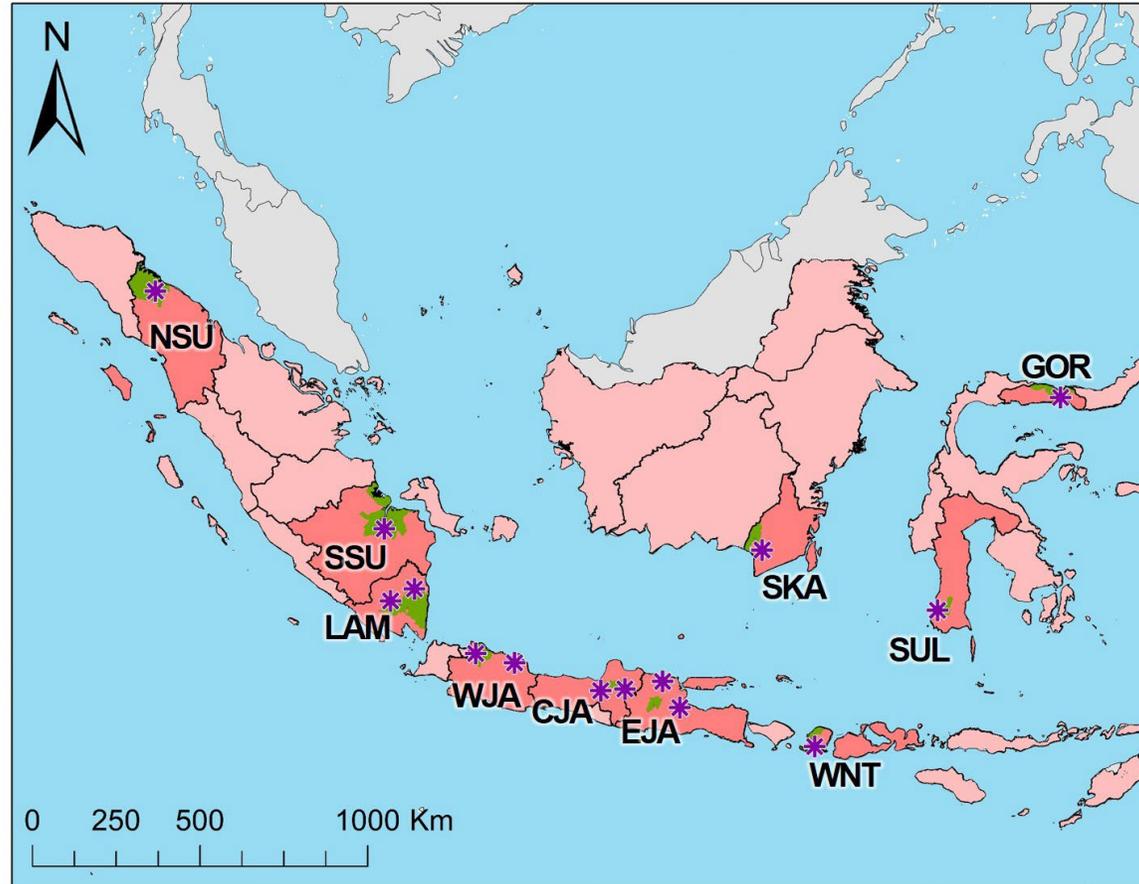
Tercer productor mundial de arroz- hasta 3 cultivos por año (rinde: 6 t/ha; 60% del potencial)



- Agus F, Andrade J, Rattalino Edreira JI, Deng N, Purwantomo D, Agustiani N, Aristya V, Batubara S, Herniwati H, Evert H, Krisnadi L, Makka A, Samijan S, Wiebe K, Cenacchi N, Grassini P (2019) Yield gaps in intensive rice-maize sequences in the humid tropical environment of Indonesia. *Field Crops Research* 237, 12-22
- Rizzo G, Agus F, Batubara SF, Andrade JF, Rattalino Edreira JI, Purwantomo DKG, Cassman KG, Grassini P (2023) A farmer data-driven approach for prioritization of agricultural research and development: A case study for intensive crop systems in the humid tropics. *Field Crops Research* 297, 108942.
- Rizzo, G., Agus, F., Susanti, Z., Buresh, R., Batubara, S.F., Aristya, V., Samijan, Istiqamah, N., Oberthür, T., Pampolino, M., Pasuquin, J., Witt, C., Cassman, KG, Grassini, P. Is potassium a yield limiting factor in intensive crop systems in the humid tropics? In review

# RECOLECCION DE DATOS DE PRODUCTORES

12 provincias que representan 70% de la producción de arroz a nivel nacional



Provincias: North Sumatra (NSU), South Sumatra (SSU), Lampung (LAM), West Java (WJA), Central Java (CJA), East Java (EJA), West Nusa Tenggara (WNT), South Kalimantan (SKA), South Sulawesi (SUL), Gorontalo (GOR).

# Datos de rendimiento, manejo, y factores socio-economicos de 3000+ lotes de arroz

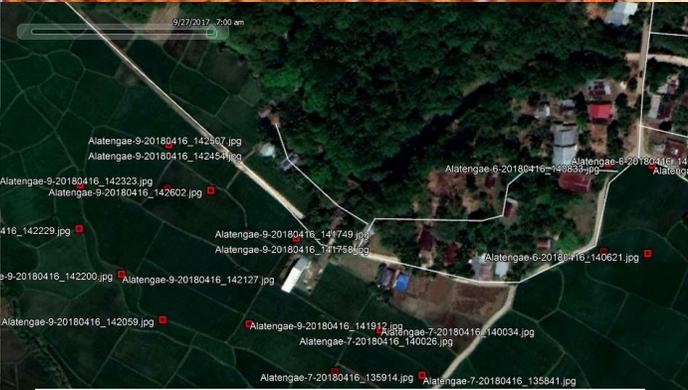


Entrenamiento de encuestadores

koordinasi survey di UPTD Tempuran  
-6,21289, 107,42236, 21.3m  
Apr 13, 2018 11:30:08 AM



Entrevistando productores

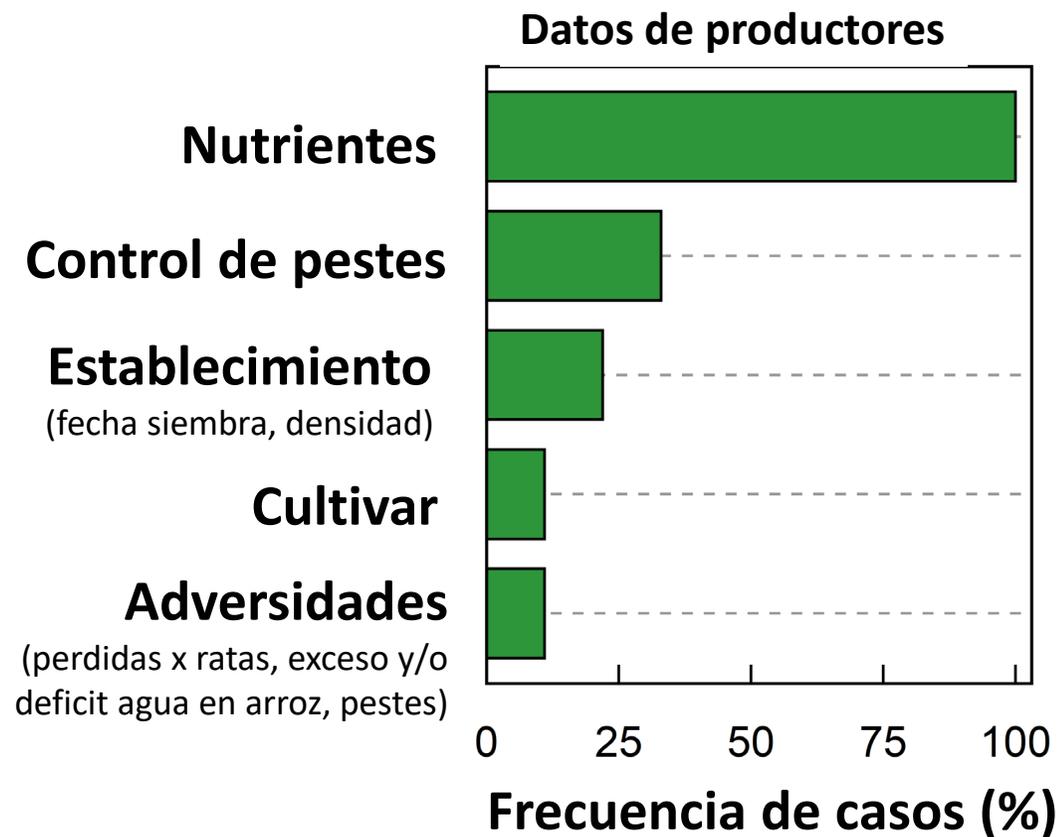


Midiendo el tamaño de los lotes

Karang Dukuh, Belawang, Barito Kuala, Kalsel  
-3,13834, 114,64085, 45,0m, 80°  
16/04/2018 16:42:19

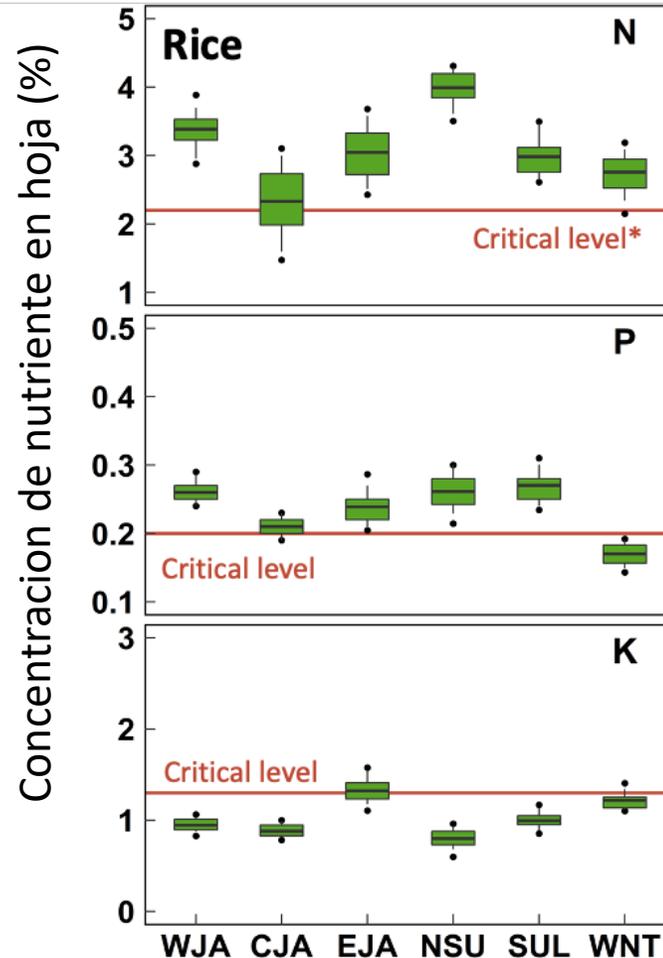
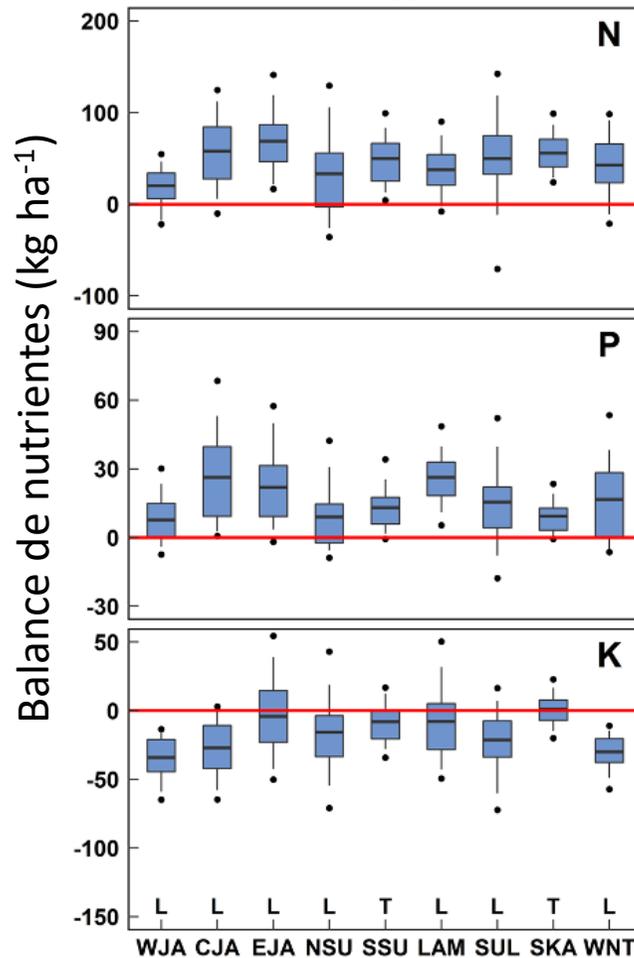
# CAUSAS DE BRECHAS: REALIDAD *VERSUS* PERCEPCIONES

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



# DESBALANCES ENTRE NUTRIENTES

## Exceso de nitrógeno (N) y fosforo (P), deficiencias de potasio (K)

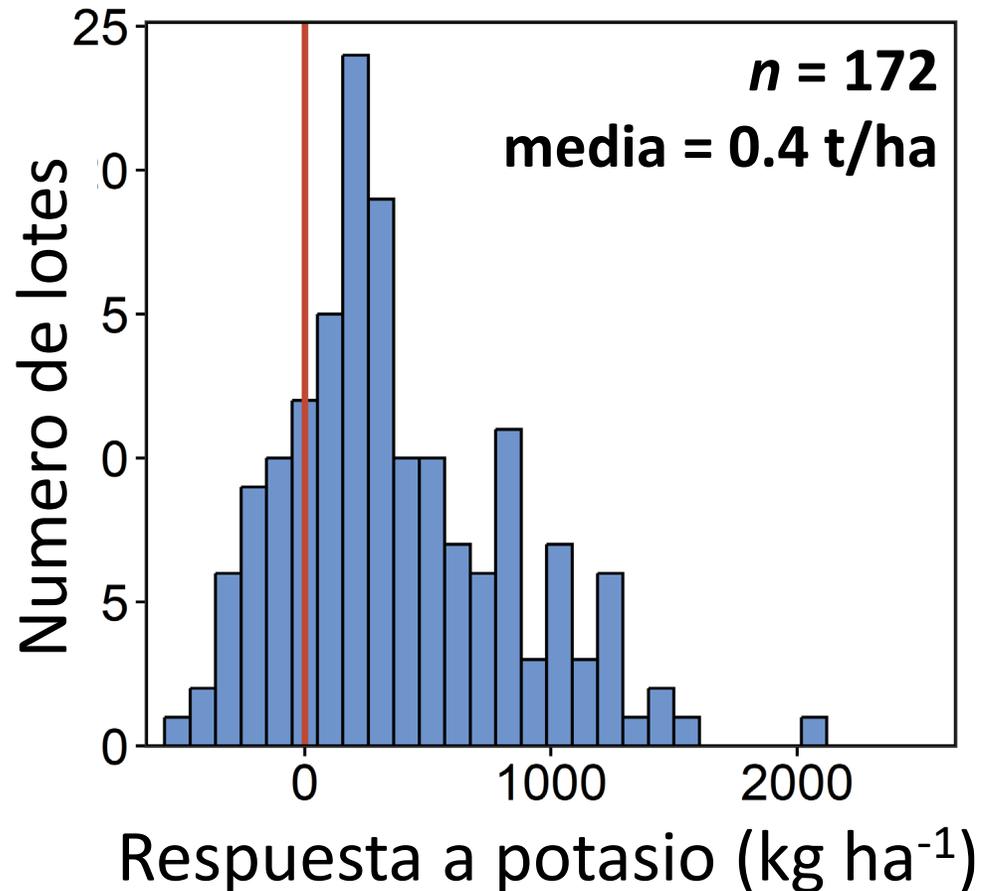


Rizzo *et al.* (Nature Food, 2024)

\*Balance de nutriente estimado por diferencia entre remoción (por grano y rastrojo) y adición de nutrientes (fertilizante, estircol, fijación de nitrógeno) basado en datos de productores colectados de 1,600 lotes en North Sumatra (NSU), South Sumatra (SSU), Lampung (LAM), West Java (WJA), Central Java (CJA), East Java (EJA), West Nusa Tenggara (WNT), South Kalimantan (SKA), South Sulawesi (SUL), Gorontalo (GOR). Las deficiencias de nutrientes fueron diagnosticados basados en muestras de planta (hoja bandera en antesis) colectadas de una submuestra de 480 lotes en Indonesia. El nivel crítico fue establecido basado en una revisión de 86 artículos reportando concentración crítica de nutrientes para arroz.

# RESPUESTA A POTASIO

Consistente respuestas de rendimiento con adición de K, con retorno a la inversión positivo



Los experimentos a campo fueron llevados a cabo en 1997-2008. Tratamientos: +NP (147 – 40 – 0) & +NPK (147 – 40 – 60)

\* Retorno a la inversión (ROI) fue calculado como el cociente entre el incremento en ingreso neto y el costo de fertilizante, usando precios históricos de arroz y MOP. Un ROI > 1 es usualmente deseable para asegurar adopción de una tecnología.

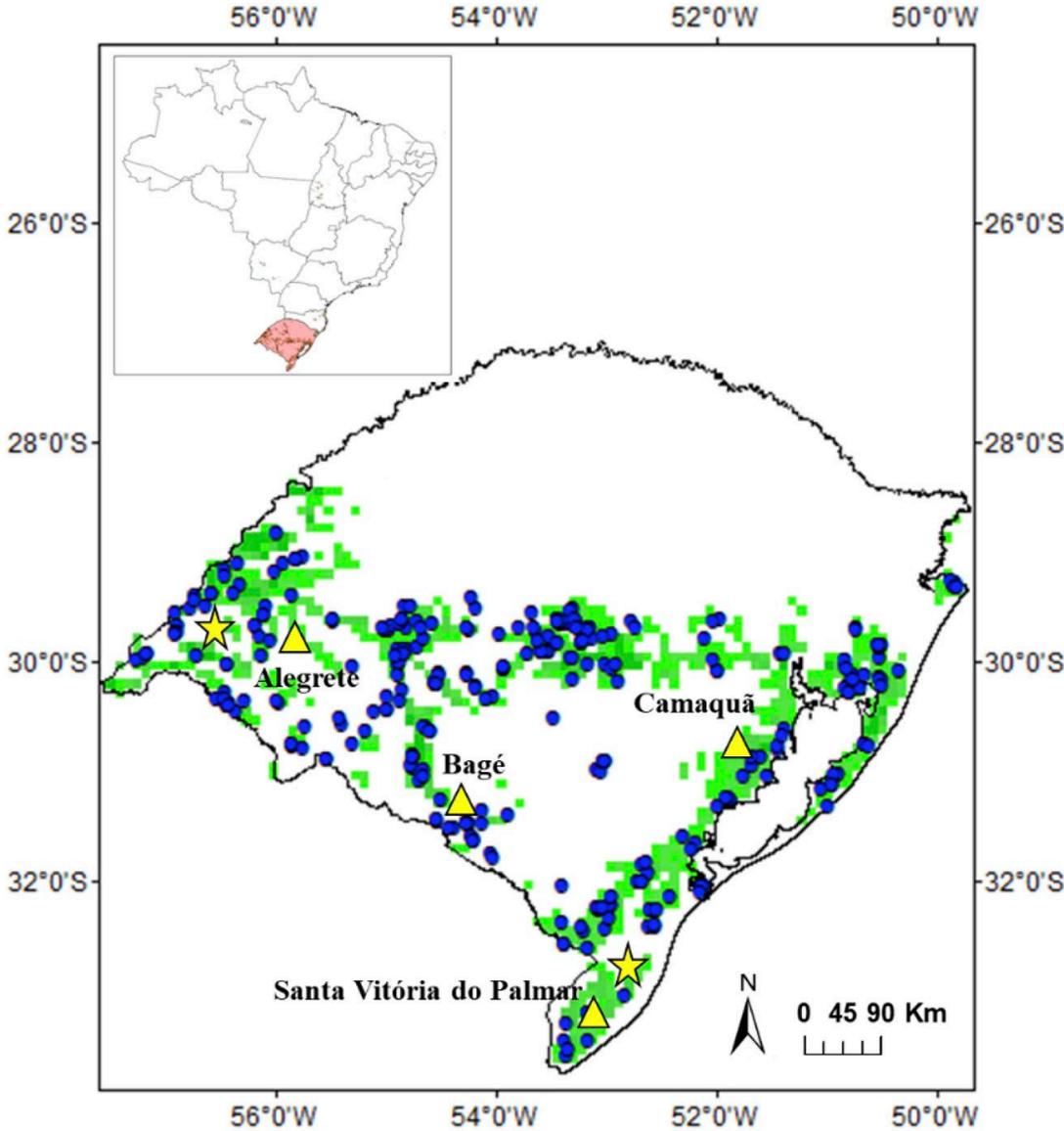
## ANALISIS DE BRECHAS PARA ARROZ REGADO EN BRASIL

Brazil: principal productor mundial de arroz afuera de Asia - rinde: 8 t/ha (53% del potencial)



Ribas GG, Zanon AJ, Streck NA, Pilecco IB, de Souza PM, Heinemann AB, Grassini P (2021) Assessing yield and economic impact of introducing soybean to the lowland rice system in southern Brazil. *Agricultural Systems* 188, 103036.

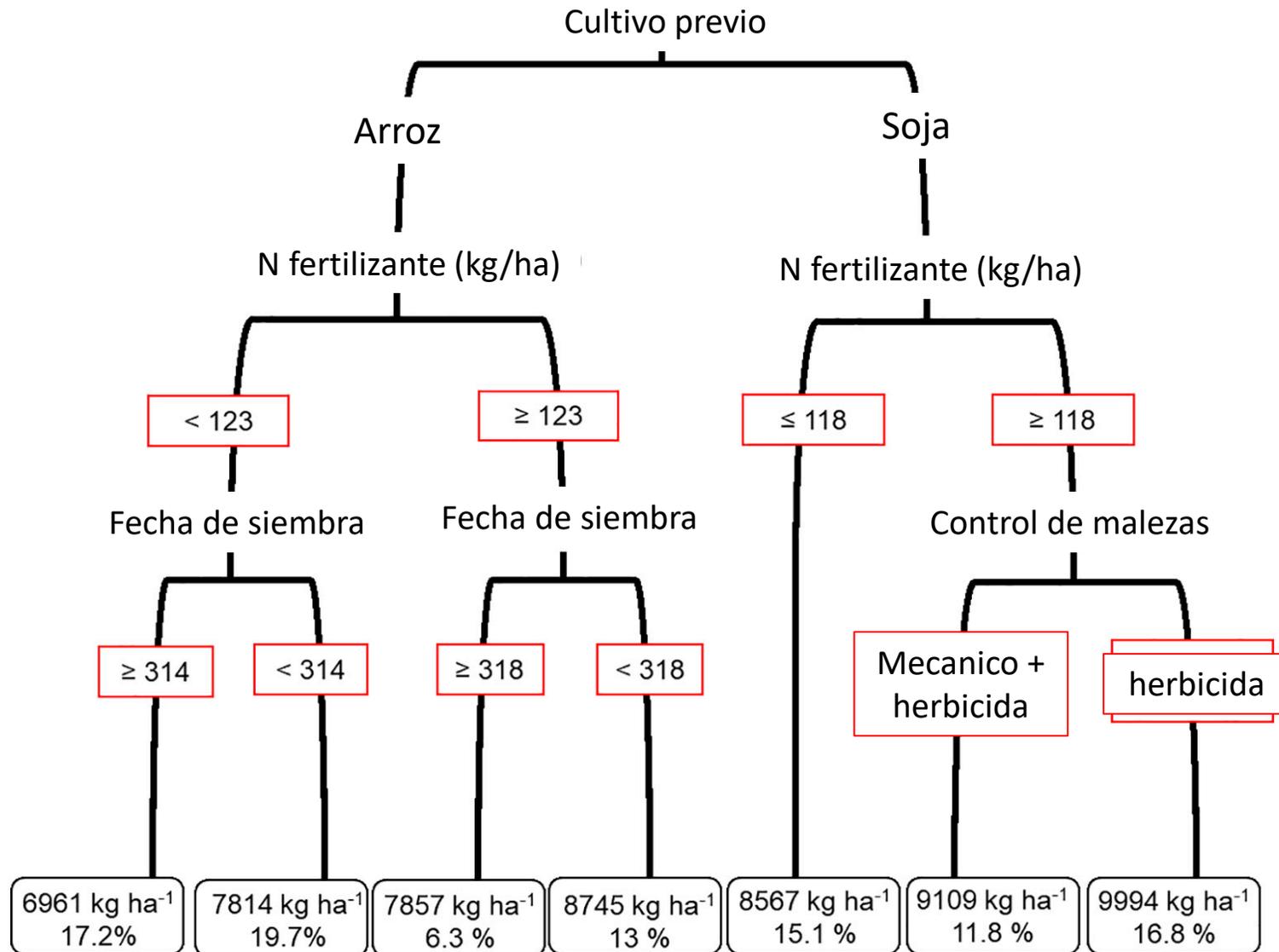
# DATOS DE PRODUCTORES DE RIO GRANDE DO SUL



Ribas *et al.* (Agric Syst., 2021)

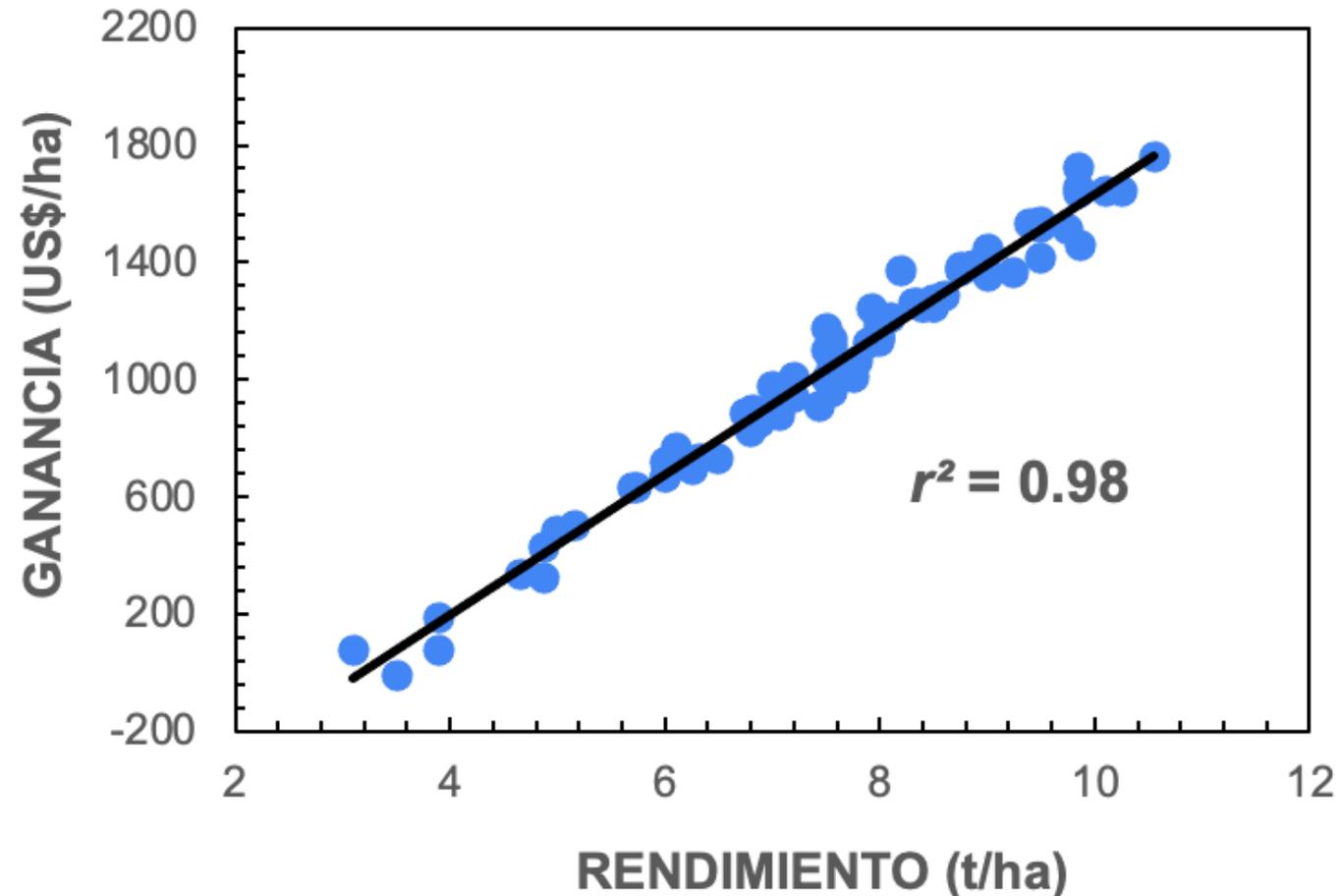
# FACTORES QUE EXPLICAN LA BRECHA

Árbol de regresión para identificar factores explicatorios de la variabilidad en rendimiento entre lotes (n= 324)



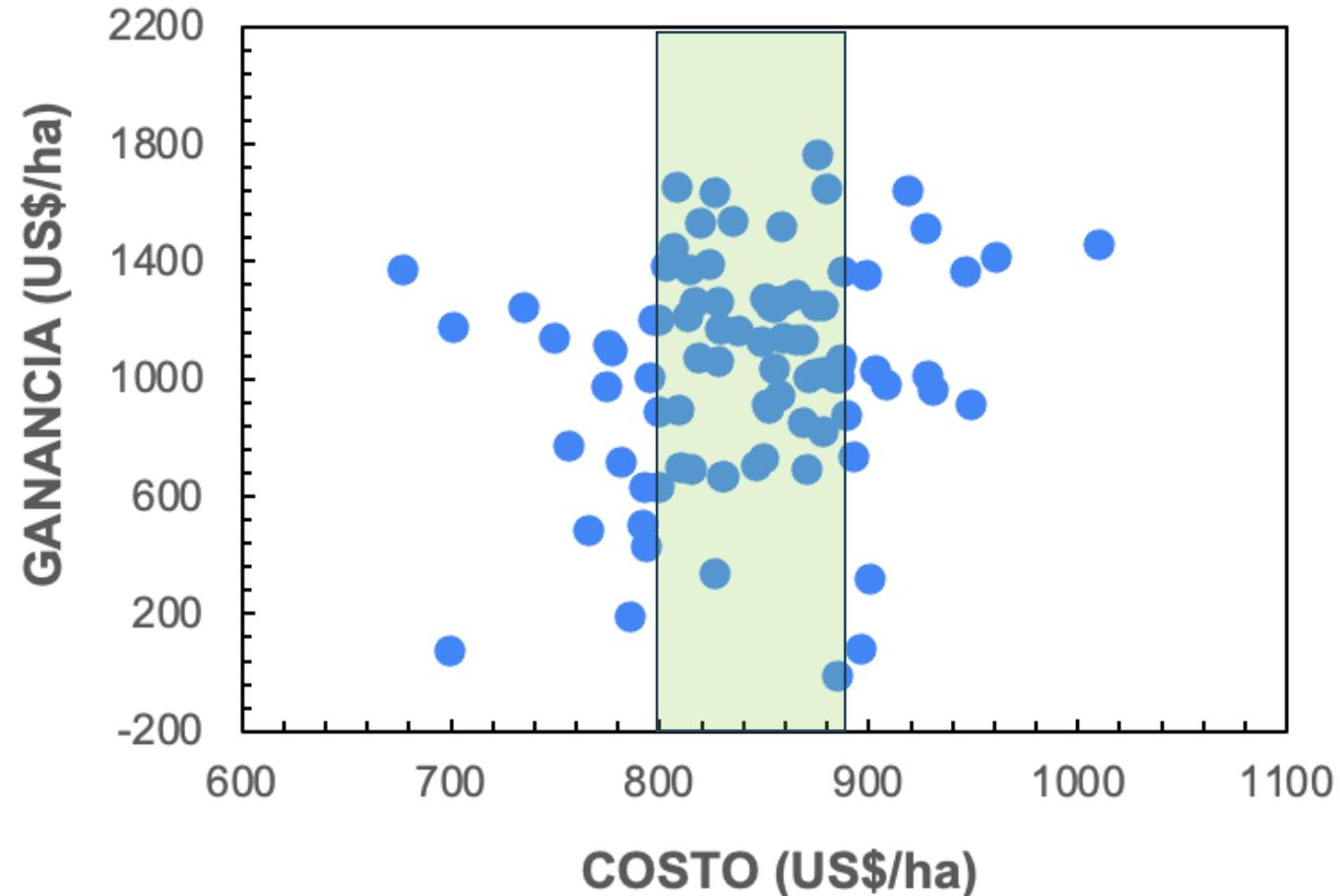
# RENDIMIENTO Y GANANCIA ECONOMICA

Relación entre rendimiento y ganancia económica para arroz sembrado en 90 lotes comerciales en Rio Grande do Sul (Brasil) en 2016 & 2017. Esta relación es común para todos los cultivos.



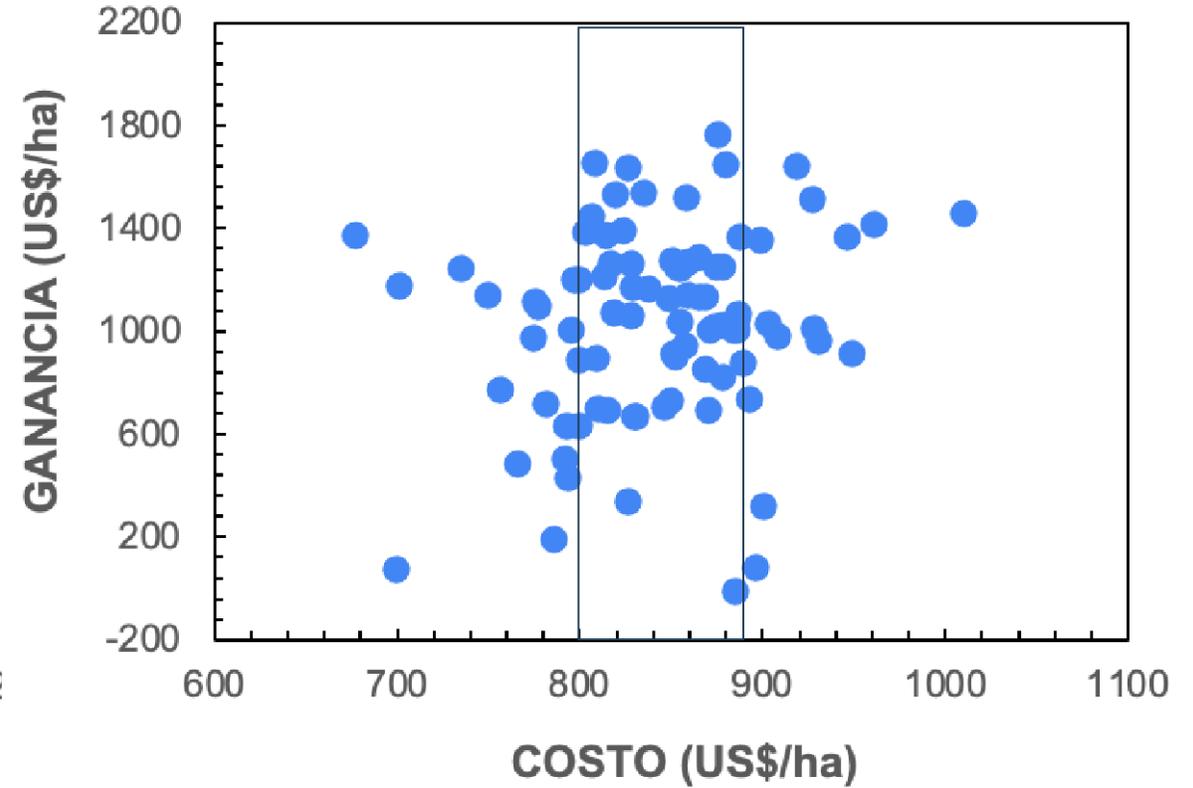
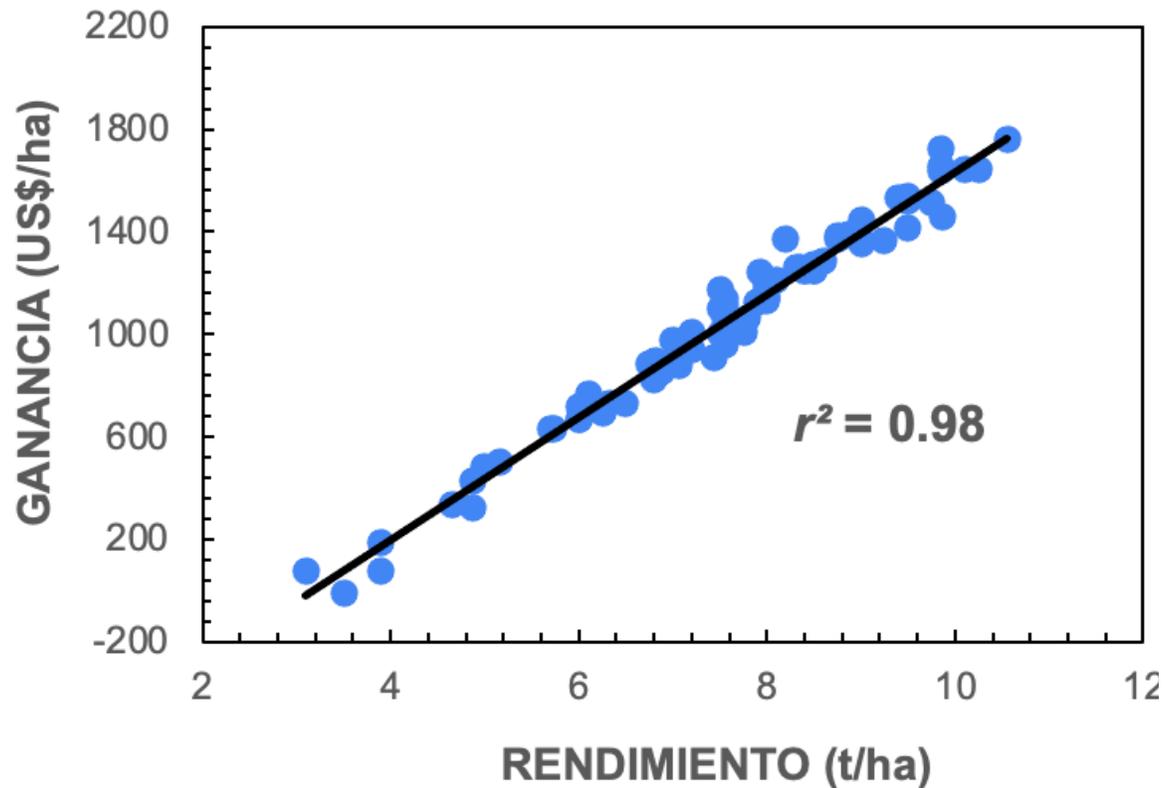
# GANANCIA VERSUS COSTOS

No hay una clara relación entre costos y ganancia económica. Muchas veces, los productores (y/o contadores) quieren reducir los costos de producción – esto debe hacerse de manera que no reduzca el rendimiento!



# GANANCIA ECONOMICA, RENDIMIENTO Y COSTOS

El objetivo NO es minimizar costos, sino incrementar el rendimiento con costos optimizados, de manera tal que la ganancia económica también es maximizada.



# RENDIMIENTO (R) DEL CULTIVO

---

$$R \text{ (t/ha)} = G + A + M$$

**G: GENOTIPO** – raramente limitante

**A: AMBIENTE** (clima, suelo) – raramente manejable

**M: MANEJO AGRONÓMICO** – raramente optimizado

# MENSAJES FINALES

---

- **Diagnosticar la brecha actual y la eficiencia en el uso de los recursos es esencial para la intensificación sustentable de los sistemas de cultivos.**
  - Necesidad de establecer metas medibles y evaluar practicas basadas en ellas
- **Aumentar el rendimiento mediante manejo agronómico, con creatividad e incesante obsesión, sigue siendo la alternativa mas viable para generar un impacto económico positivo en el productor.**
  - Sin embargo, discutir precios y/o el efecto del clima en los cultivos es mas frecuente, a pesar de la capacidad limitada que tenemos de manejar estos factores.
- **El objetivo NO debería ser minimizar insumos, sino incrementar el rendimiento con insumos optimizados – de tal manera que el impacto ambiental por unidad de producción sea minimizado.**
- **El análisis de datos de productores es una aproximación eficaz para identificar oportunidades para aumentar el rendimiento y las eficiencias – en todos los sistemas hay margen de mejora y los invito a hacerlo!**



**Gracias!**

Patricio Grassini ([pgrassini2@unl.edu](mailto:pgrassini2@unl.edu))

# REFERENCIAS

---

- Agus F, Andrade J, Rattalino Edreira JI, Deng N, Purwantomo D, Agustiani N, Aristya V, Batubara S, Herniwati H, Evert H, Krisnadi L, Makka A, Samijan S, Wiebe K, Cenacchi N, Grassini P (2019) Yield gaps in intensive rice-maize sequences in the humid tropical environment of Indonesia. *Field Crops Research* 237, 12-22
- Ribas GG, Zanon AJ, Streck NA, Pilecco IB, de Souza PM, Heinemann AB, Grassini P (2021) Assessing yield and economic impact of introducing soybean to the lowland rice system in southern Brazil. *Agricultural Systems* 188, 103036.
- Rizzo G, Agus F, Batubara SF, Andrade JF, Rattalino Edreira JI, Purwantomo DKG, Anasiru RH, Maintang, Marbun O, Ningsih RD, Syahri, Ratna BS, Yulianti V, Istiqomah N, Aristya VE, Howard R, Cassman KG, Grassini P (2023) A farmer data-driven approach for prioritization of agricultural research and development: A case study for intensive crop systems in the humid tropics. *Field Crops Research* 297, 108942.
- Rizzo, G., Agus, F., Susanti, Z., Buresh, R., Batubara, S.F., Aristya, V., Samijan, Istiqamah, N., Oberthür, T., Pampolino, M., Pasuquin, J., Witt, C., Cassman, KG, Grassini, P. Is potassium a yield limiting factor in intensive crop systems in the humid tropics? In review
- Yuan S, Linqvist BA, Wilson LT, Cassman KG, Stuart AM, Pede V, Miro B, Saito K, Agustiani N, Aristya VE, Krisnadi LY, Zanon AJ, Heinemann AB, Carracelas G, Subash N, Brahmanand PS, Li T, Peng S, Grassini P (2021) Sustainable intensification for a larger global rice bowl. *Nature Communications* 12, 7163
- Cassman KG, Grassini P (2020) A global perspective of sustainable intensification research. *Nature Sustainability* 3, 262-268.
- Global Yield Gap Atlas. Website: [www.yieldgap.org](http://www.yieldgap.org)