



RAVIT
Red Agropecuaria
de Vigilancia Tecnológica

CULTIVOS CON FUTURO

2023



Brechas de Rendimiento:
Bases, aplicaciones y ejemplos
para maíz en Córdoba Norte

Dr Diego Hernán Rotili

Auspician:



¿De qué vamos a hablar?

“BRECHAS DE RENDIMIENTO” – UN TÉRMINO DE MODA

i) ¿Qué significa una “brecha de rendimiento”?

ii) ¿Para qué sirve conocer las brechas de rendimiento?

iii) ¿Cómo se pueden estimar las brechas de rendimiento?

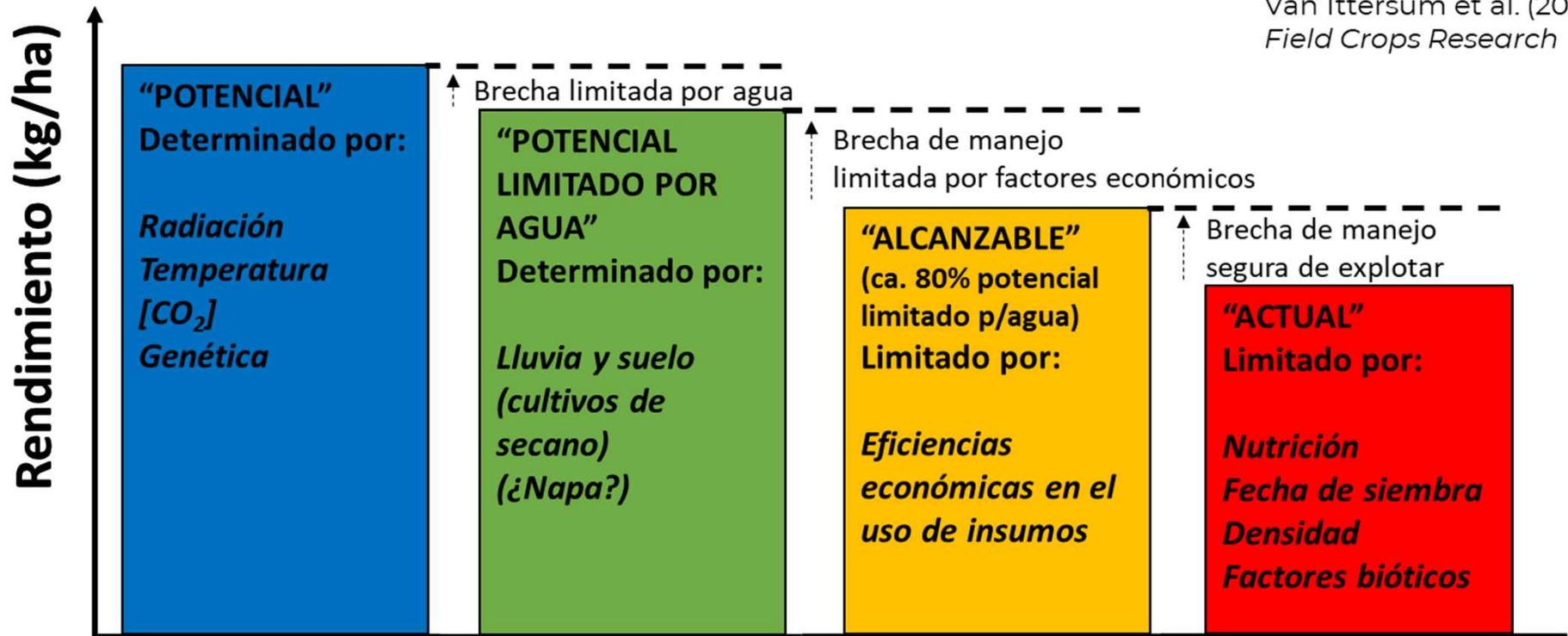
iv) ¿Qué precauciones debemos tener a la hora de estimar brechas?

v) Aplicaciones de brechas de rendimiento para maíz en Córdoba Norte

¿Qué es una brecha de rendimiento?

DIFERENCIA DE RENDIMIENTO ENTRE UN “NIVEL” DE RENDIMIENTO Y OTRO

Van Ittersum et al. (2013)
Field Crops Research

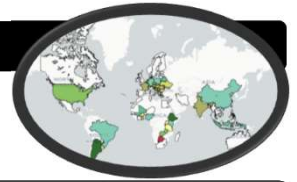


¿Para qué estudiar las brechas?

APLICACIONES DIFERENTES, DEPENDIENDO DE LA ESCALA DE ANÁLISIS

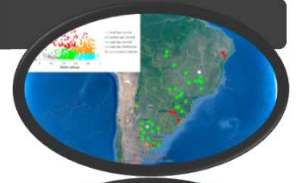
i) Global

- Seguridad alimentaria mundial
- Reconocer países con potenciales excedentes o escasez



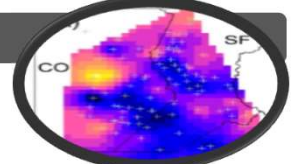
ii) Continental

- Reconocer regiones con potencial devolución de inversiones
- Identificar zonas con techos de rendimiento
- Estimar impactos de limitantes climáticas, institucionales, económicas



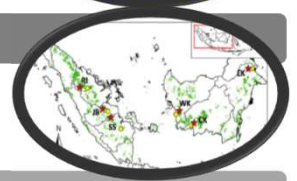
iii) Regional

- Identificar zonas con potencial mejora futura
- Estimar limitaciones edáficas, tecnológicas, logísticas



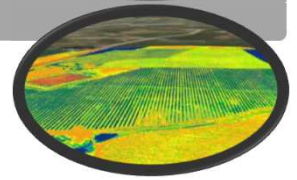
iv) Establecimiento

- Comparar equipos técnicos más y menos exitosos entre y dentro de empresas
- Clasificar campos con mayor posibilidad de mejora productiva



v) Lote

- Evaluar mejoras a partir de prácticas de manejo al nivel de aplicación productiva
- Escalar hacia arriba las estimaciones



¿Cómo estudiar las brechas?

DIFERENTES MÉTODOS (VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA UNO)

A) Modelos de simulación

- Muchos años y lotes pueden considerarse
- Explora límites biofísicos
- No representa condiciones reales (malezas, plagas, enfermedades, maquinaria, etc.)

B) Experimentos a campo

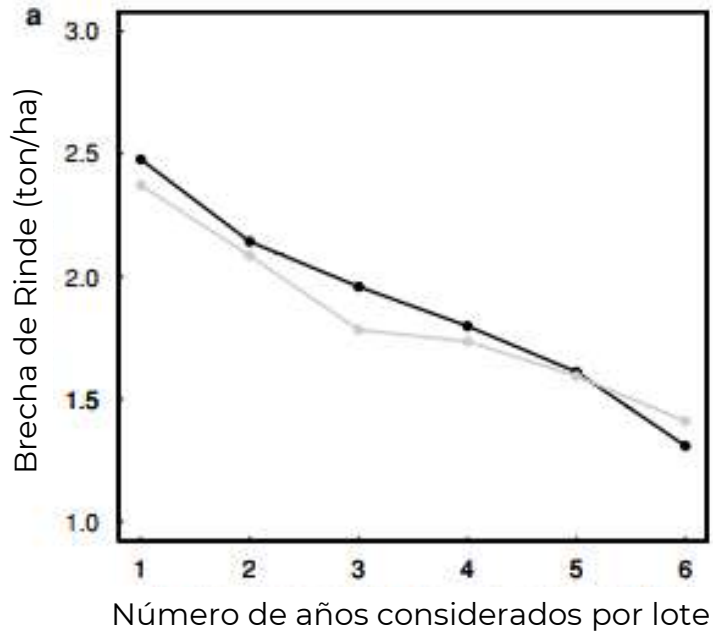
- Microparcelas en condiciones de campo
- Comparación de muchas prácticas en la misma condición
- + laborioso y necesidad de repetirlos muchos años

C) Lotes de producción

- Condiciones de producción muchos años disponibles
- Consideran el costo de producción y la eficiencia económica
- Pueden no contemplar condiciones de manejo superadoras

¿Cómo estudiar las brechas?

EL RANGO TEMPORAL CONDICIONA EL RESULTADO



Yo elijo un manejo determinado para mi maíz, pensando en lo que mejor funciona para el promedio de los años...Otro elige otro manejo; el que “gana” en mayor rendimiento no es el mismo cada año.

Un año “le erro” porque necesitaba otra fecha de siembra, otro híbrido, más fertilizante, etc.

Otro año “le erra” el otro, tanto por el mismo o por otro motivo...(los factores determinantes de la brecha son en gran proporción aleatorios)

Cuando se promedian varios años, no existe un solo productor que consistentemente sea el de máximos rindes (corrigiendo por ambiente)...

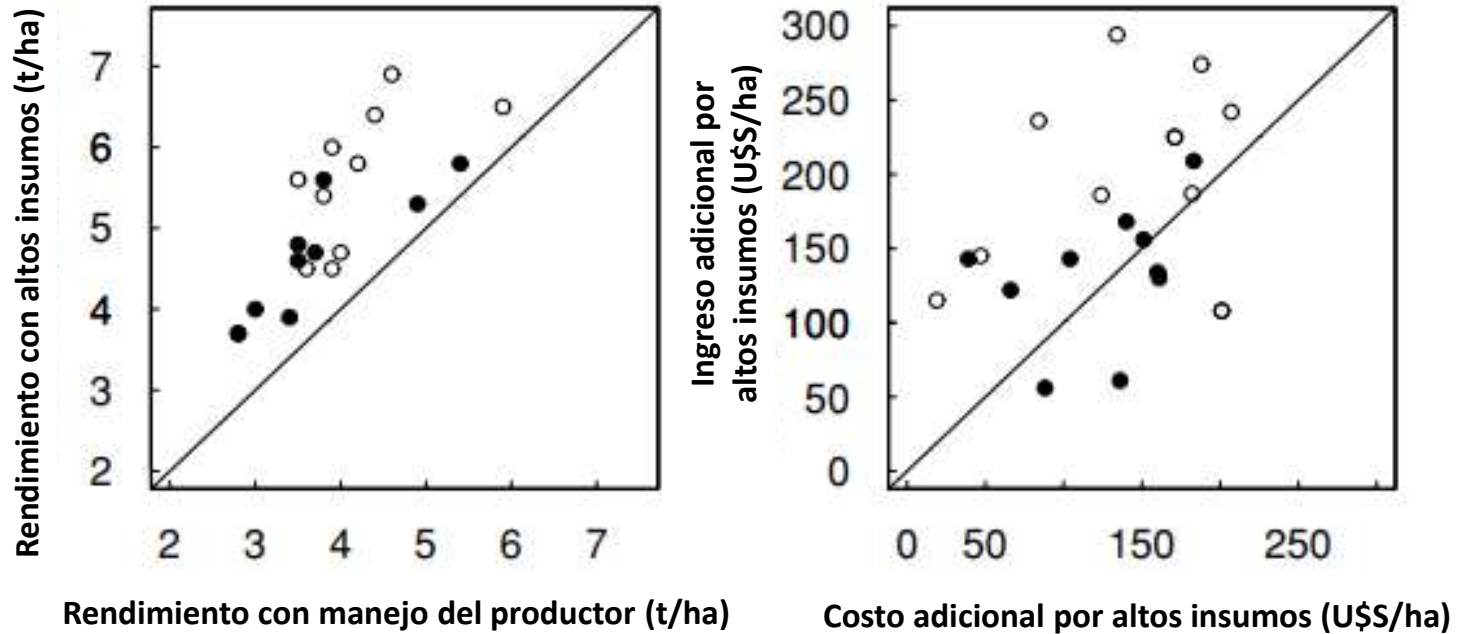
Lobell et al. (2009)

Annual Review of Environmental Resources

¿Cómo estudiar las brechas?

RINDE POTENCIAL NO ES LO MISMO QUE RINDE ECONÓMICAMENTE RACIONAL

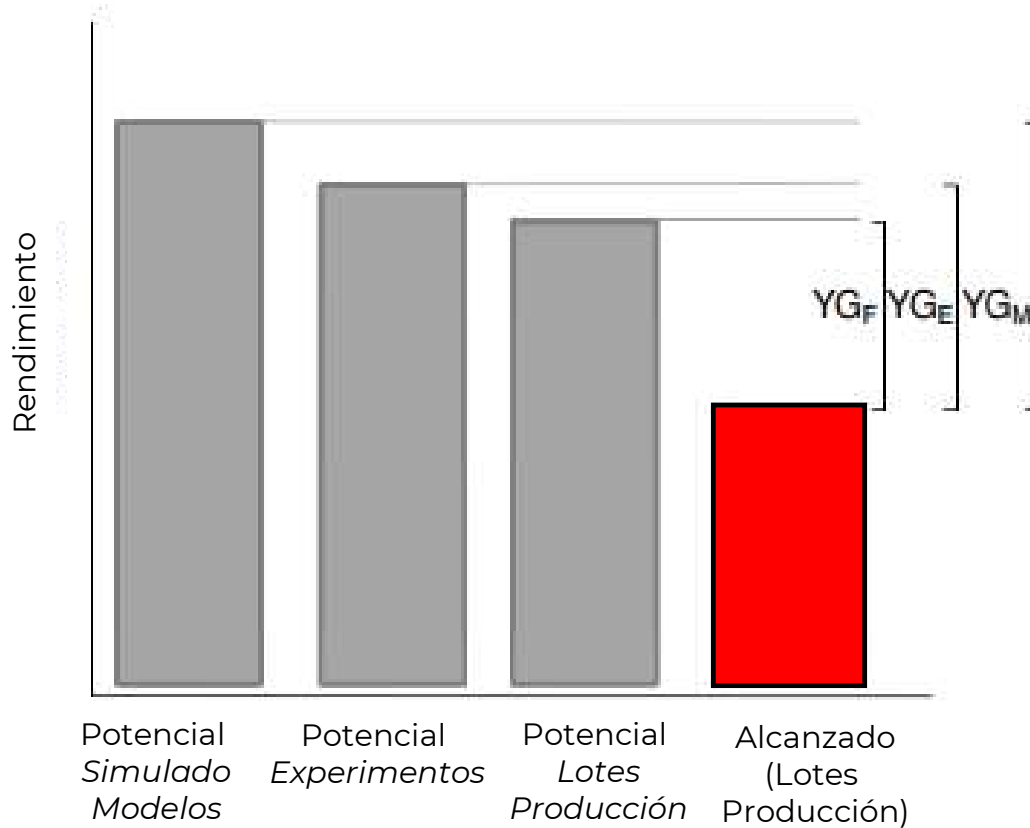
Lobell et al. (2009)
Annual Review of Environmental Resources



Agregar insumos aumenta el rinde casi siempre, pero no siempre agrega valor a mi actividad (Rinde potencial versus rinde alcanzable o económico)

¿Cómo estudiar las brechas?

EL MÉTODO DE ANÁLISIS PUEDE CONDICIONAR EL RESULTADO (¡CUIDADO!)



Lobell et al. (2009)

Annual Review of Environmental Resources

Pros y contras por método...

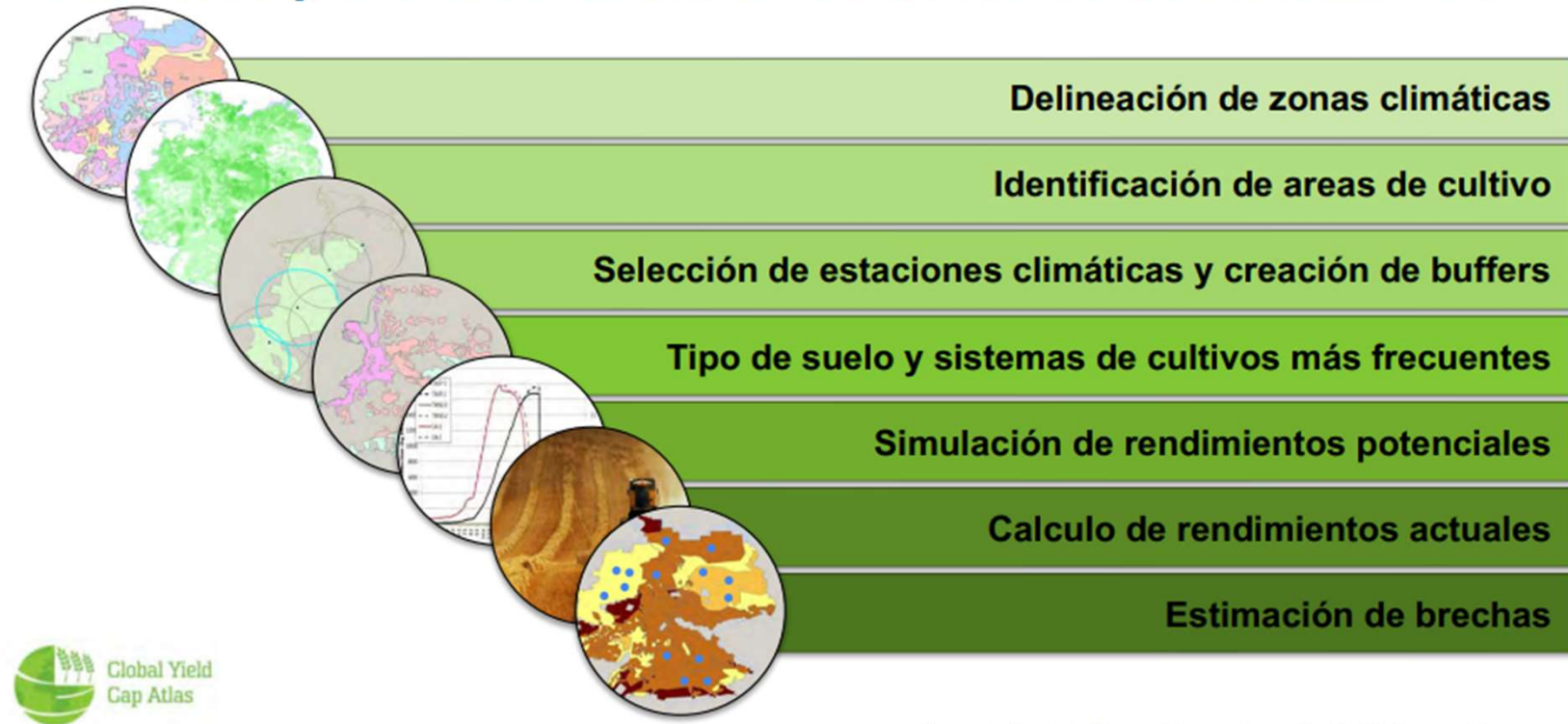
Los niveles de rendimiento (y la brecha) difiere según el método de análisis.

Los resultados de los análisis no indican verdades, sólo nos guían a acercarnos a alguna verdad en función de nuestro objetivo

Ejemplos para maíz en Córdoba Norte

SIMULACIONES = GLOBAL YIELD GAP ATLAS (www.yieldgap.org)

Protocolo para la estimación de brechas de rendimiento



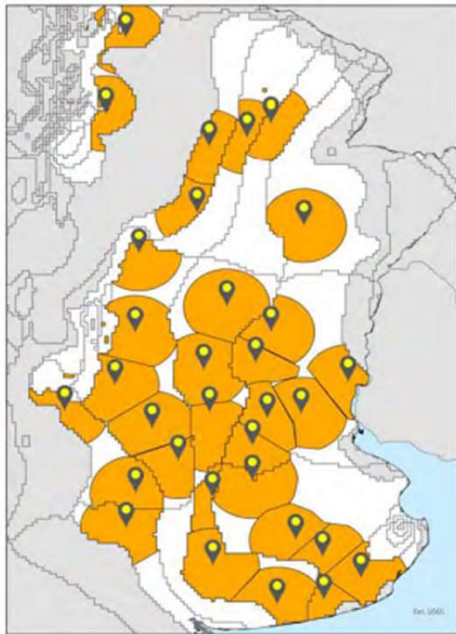
Grassini et al. & van Bussel et al., *Field Crops Research* (2015)

José Andrade et al. (2023), Simposio Fertilidad

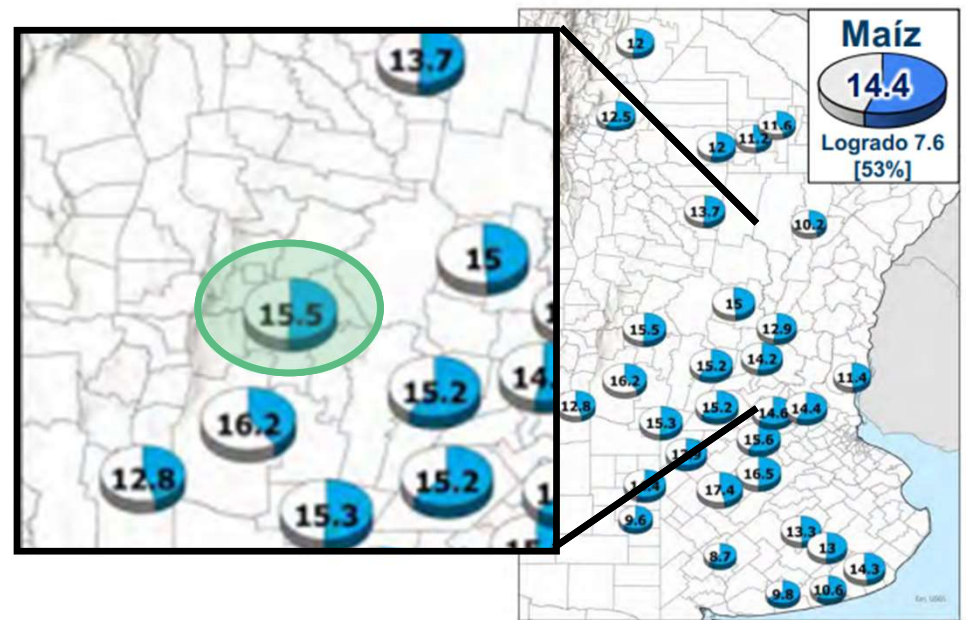
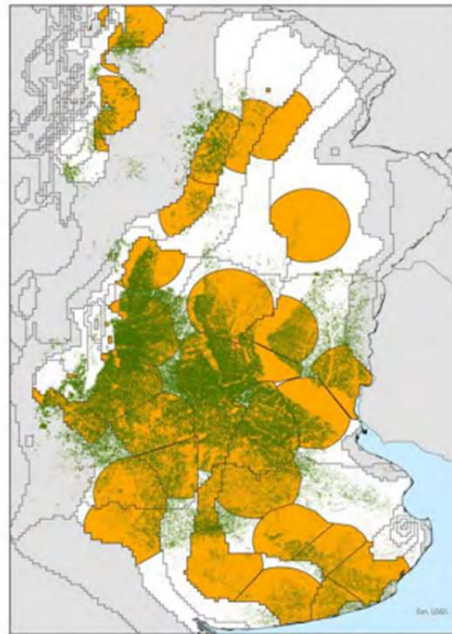
Ejemplos para maíz en Córdoba Norte

SIMULACIONES = GLOBAL YIELD GAP ATLAS (www.yieldgap.org)

Zonas climáticas y buffers seleccionados Resultados



Estación meteorológica (SMN o INTA)



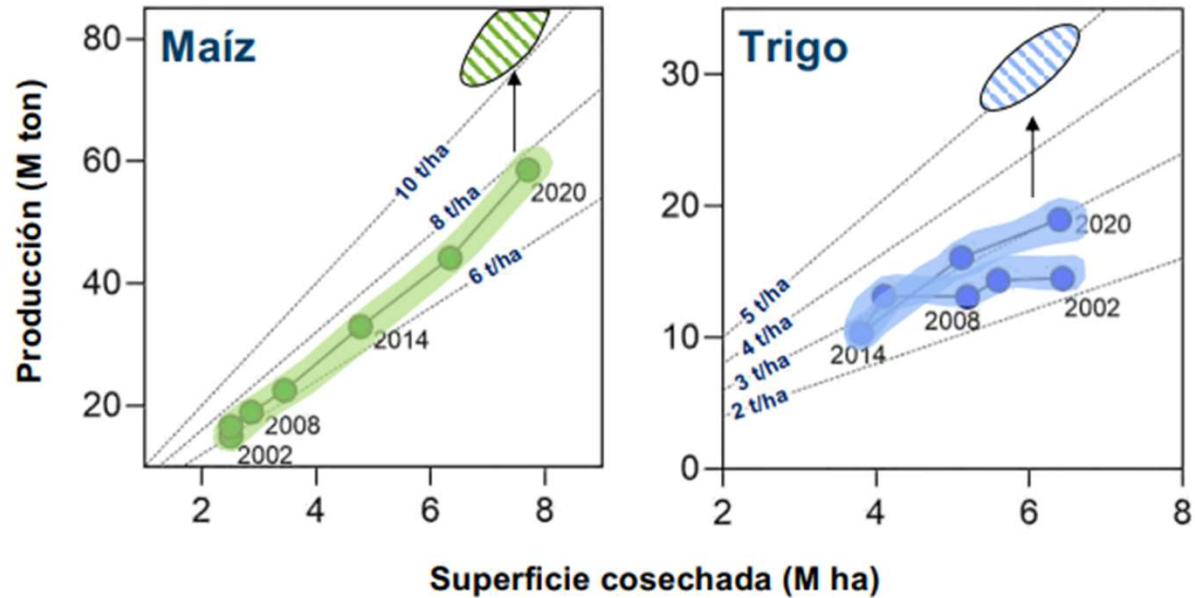
José Andrade et al. (2023), Simposio Fertilidad

Ejemplos para maíz en Córdoba Norte

SIMULACIONES = GLOBAL YIELD GAP ATLAS (www.yieldgap.org)

Impacto del cierre de brechas de rendimiento

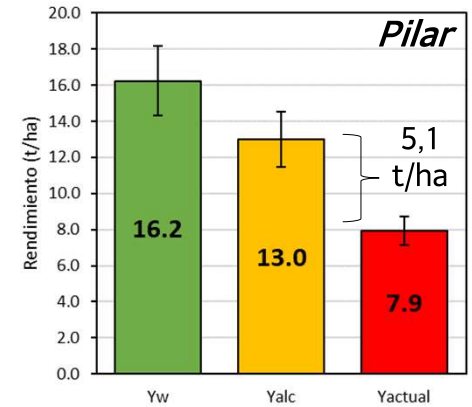
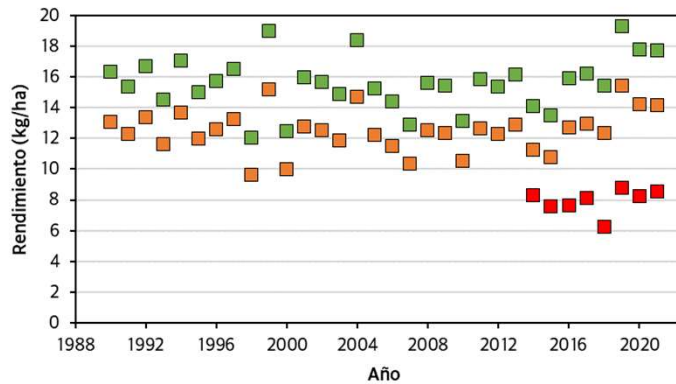
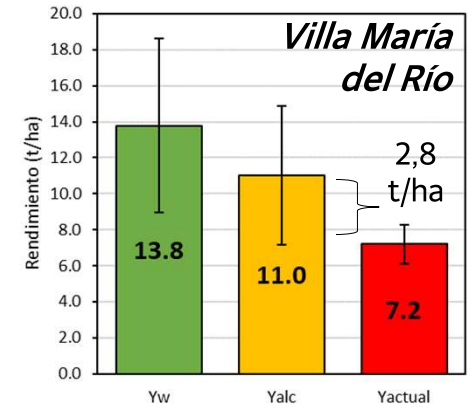
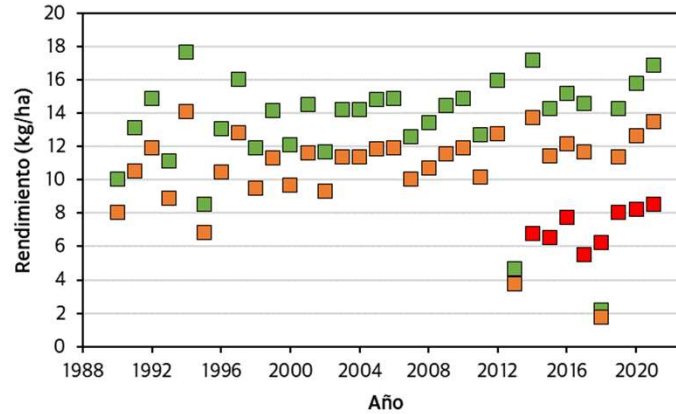
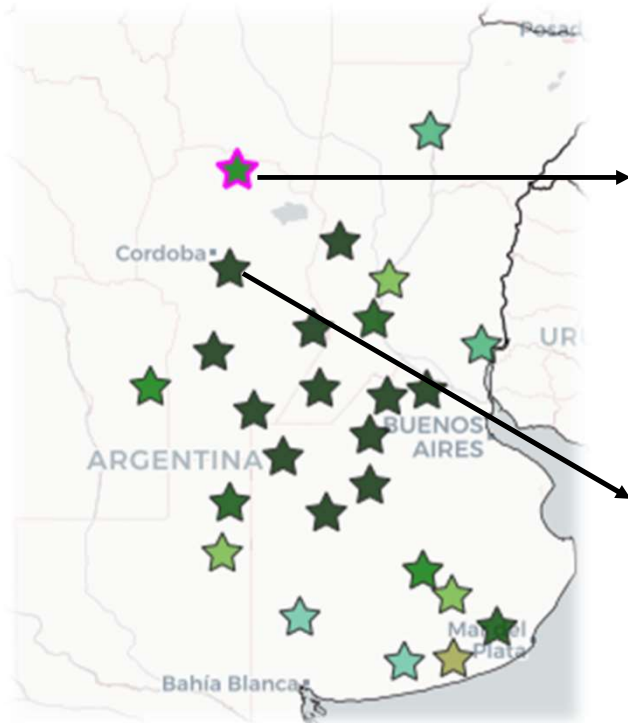
Llevar los rendimientos logrados al 80% del potencial en seco en maíz (11.5 t/ha) y trigo (5.3 t/ha) significaría:



José Andrade et al. (2023), Simposio Fertilidad

Ejemplos para maíz en Córdoba Norte

SIMULACIONES = GLOBAL YIELD GAP ATLAS (www.yieldgap.org)



Ejemplos para maíz en Córdoba Norte

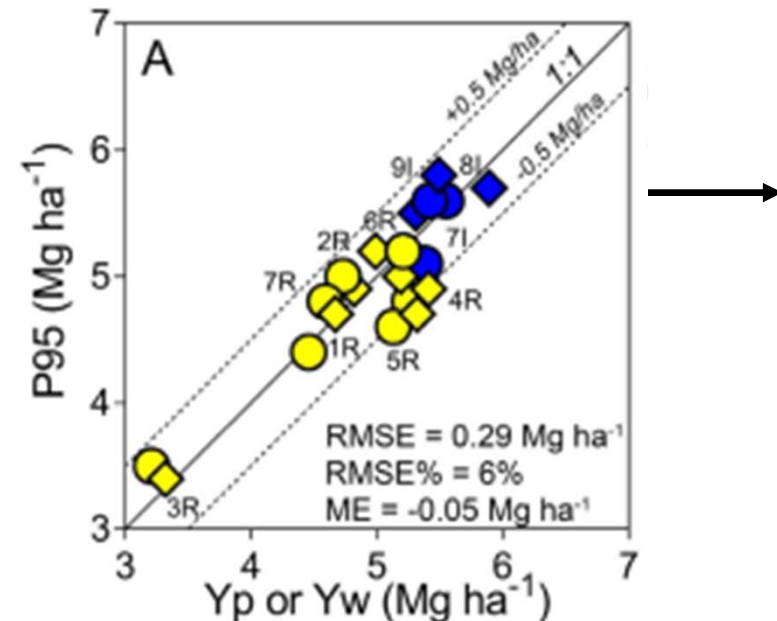
DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (¿CÓMO ESTIMAR NIVELES?)

Datos de lote versus modelos...

La dificultad de los lotes radica en estimar bien el Y_w (potencial limitado por agua).

Si se conoce el origen de los datos, y se confirma que son productores “de punta”, con genética de punta, alta tecnología de siembra, fertilización, control de adversidades, etc. Se puede estimar adecuadamente.

Los percentiles 95 (P95; 5% superior de los datos) o 99 (P99; 1% superior de los datos) pueden utilizarse como estimadores del Y_w .

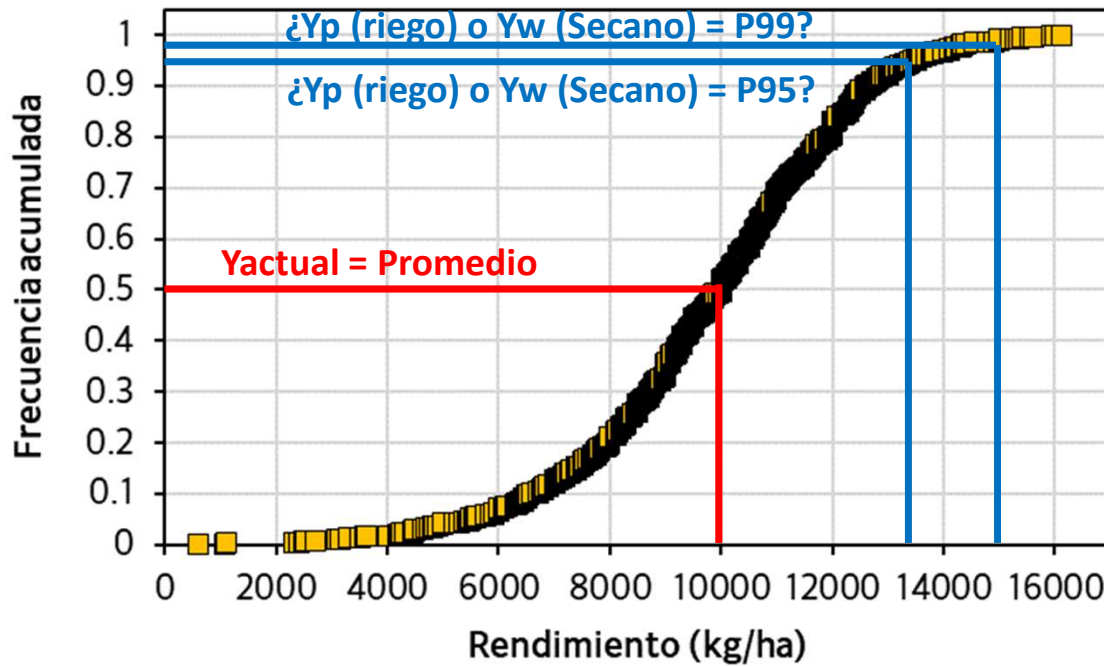


Rattalino Edreira et al. (2017)
Agricultural and Forest Meteorology

Ejemplos para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (¿CÓMO ESTIMAR NIVELES?)

¿Cómo estimamos los niveles de rendimiento? Potencial y actual

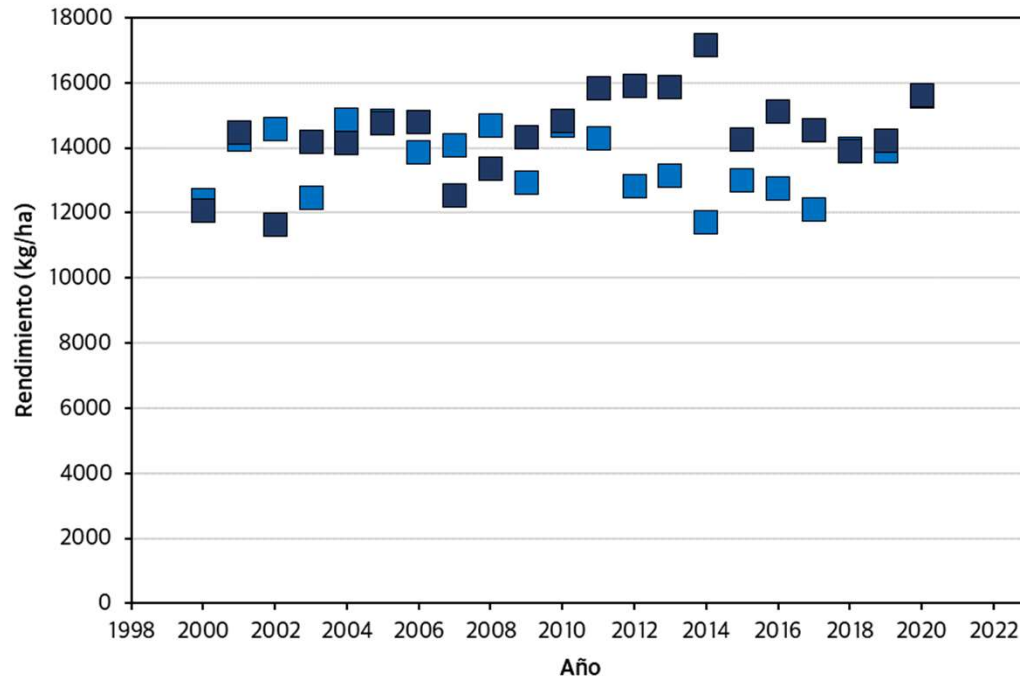


Elegir acorde al origen de los datos:

- Productores de muy alta tecnología y restringidos a una zona particular se elegiría el Percentil95
- Productores con variación de tecnologías y en una zona más amplia, convendría elegir el P99
- Lo importante es que la estimación esté lo más cercana a lo que biológicamente se podría cosechar como máximo.

Ejemplos para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 1999-2022)



BUFFER Villa María del Río GYGA

$Y_p = 14,5 \text{ t/ha}$

Lotes bajo riego CREA Córdoba Norte

$P99 (Y_p) = 13,8 \text{ t/ha}$

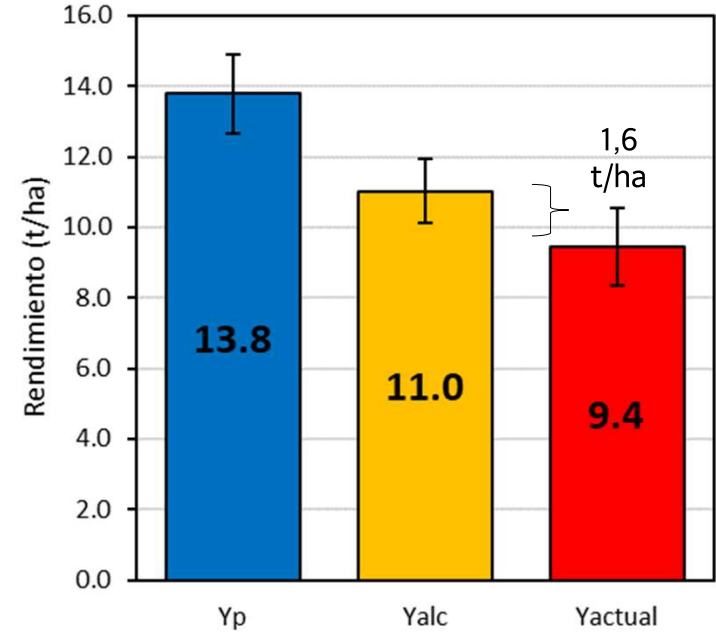
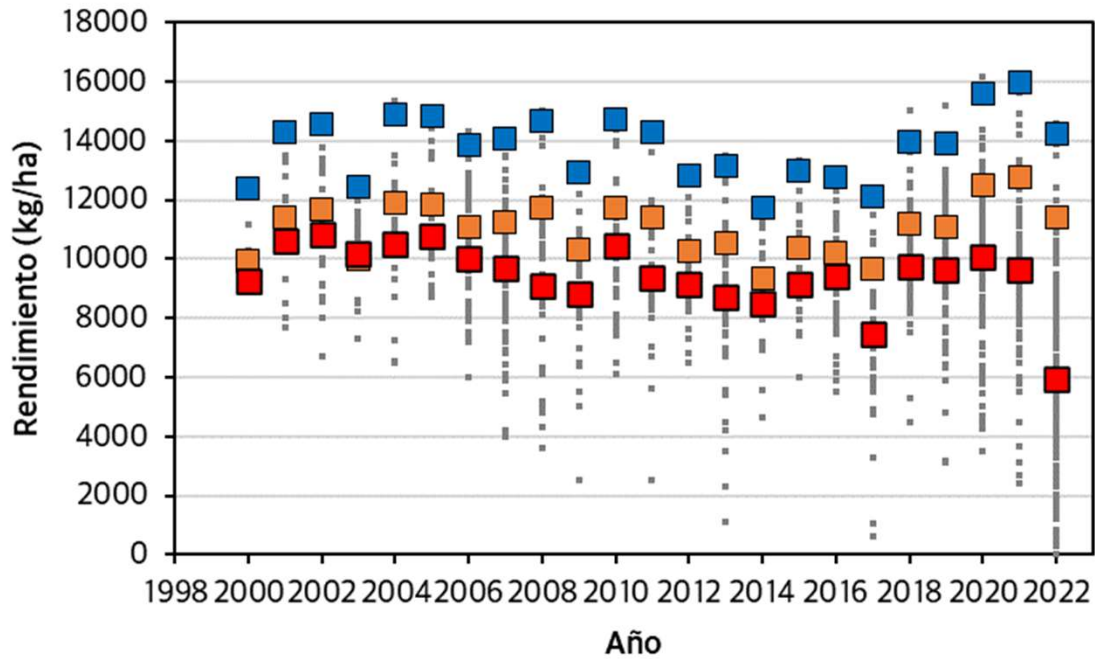
Posibles causas de la diferencia:

- *Errores de las simulaciones:*
 - Suelos no contemplados por GYGA
 - Sólo una estación meteorológica versus toda una región
- *Errores de los lotes:*
 - Pérdidas de cosecha (vuelco, etc.)
 - Lotes sub-regados respecto a demanda.
 - Manejo limitante (densidad, N, etc.)

Ejemplos para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 1999-2022)

Lotes bajo riego CREA Córdoba Norte

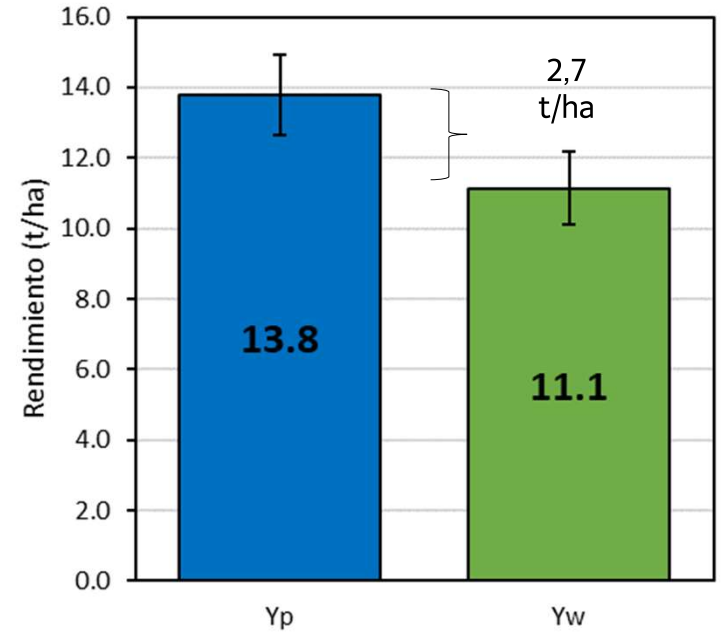
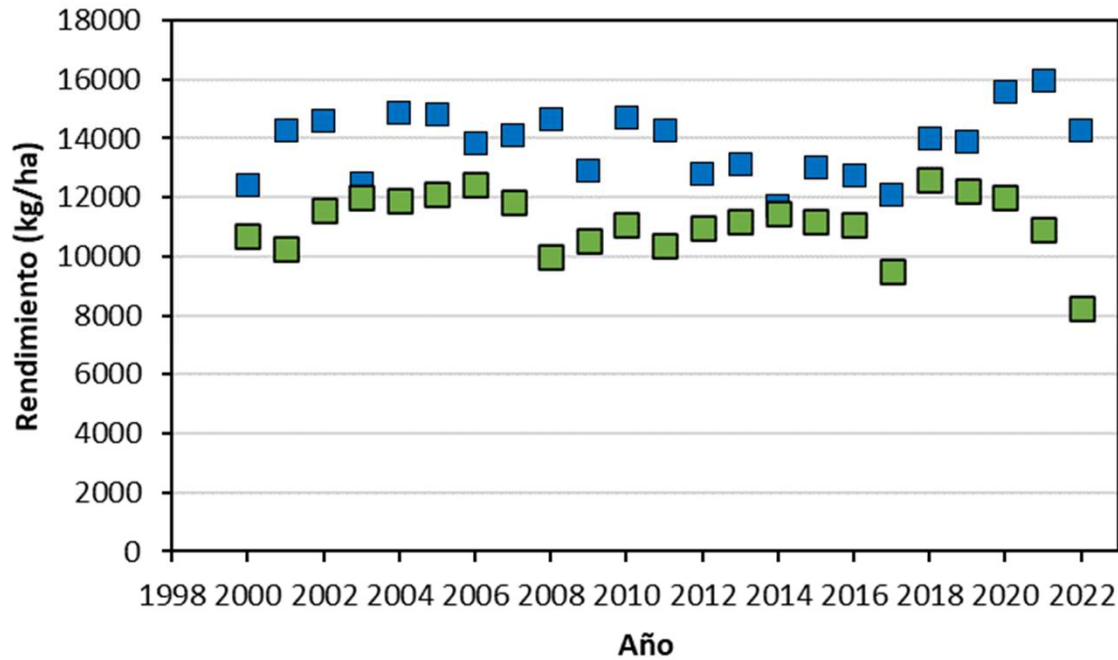


Brecha por cerrar bajo riego
(Variable interanualmente)

Ejemplos para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 1999-2022)

Lotes bajo riego y en secano CREA Córdoba Norte

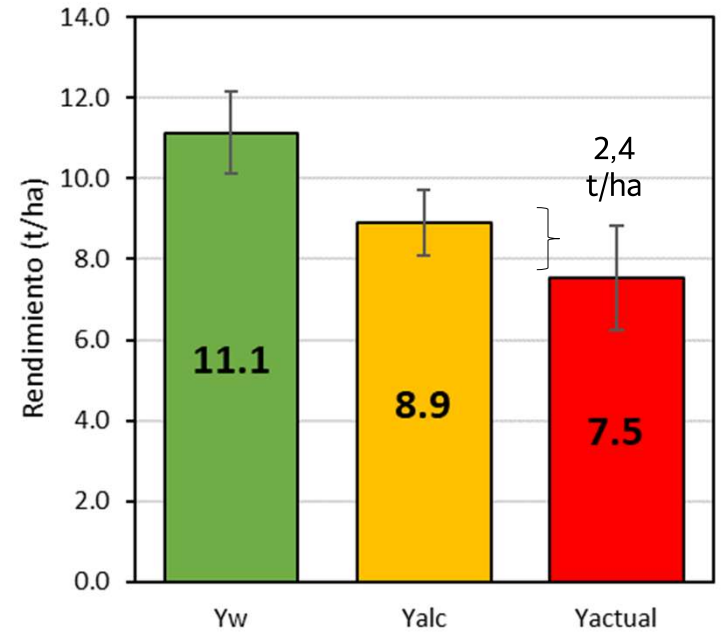
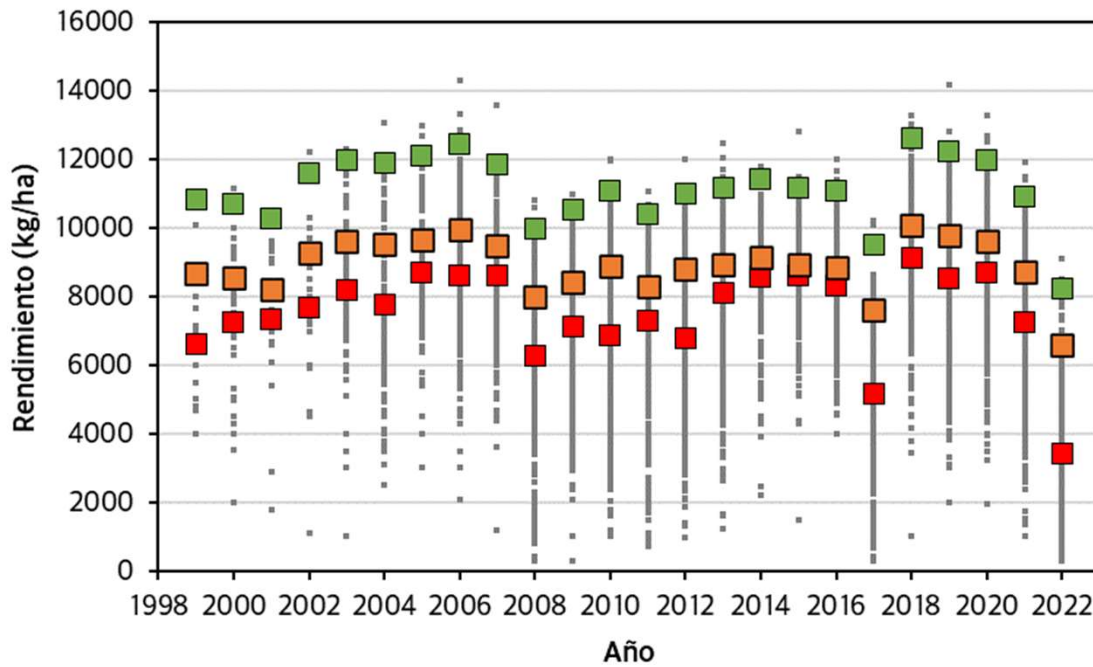


Brecha hídrica o limitación por agua
(Variable interanualmente)

Ejemplos para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 1999-2022)

Lotes en secano CREA Córdoba Norte

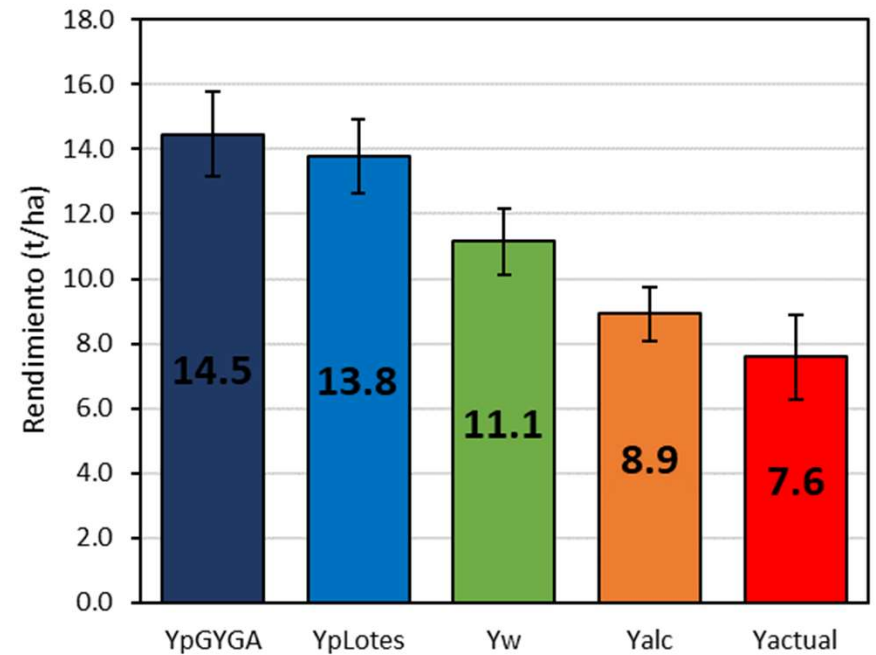
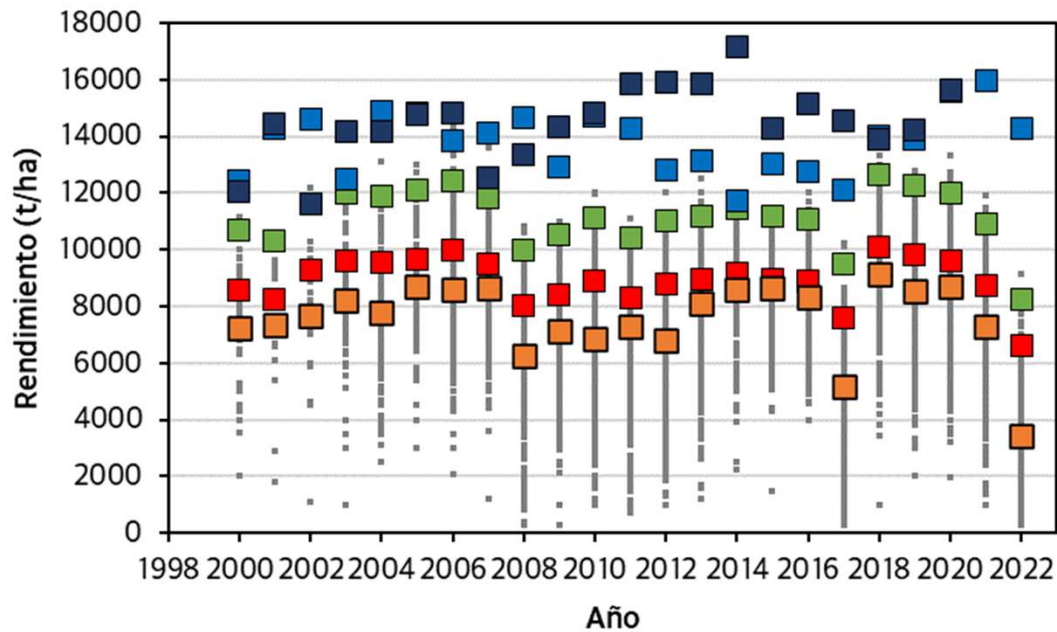


Brecha por cerrar en secano
(Variable interanualmente)

Ejemplos para maíz en Córdoba Norte

JUNTANDO APROXIMACIONES

GYGA + Lotes bajo riego y en secano CREA Córdoba Norte

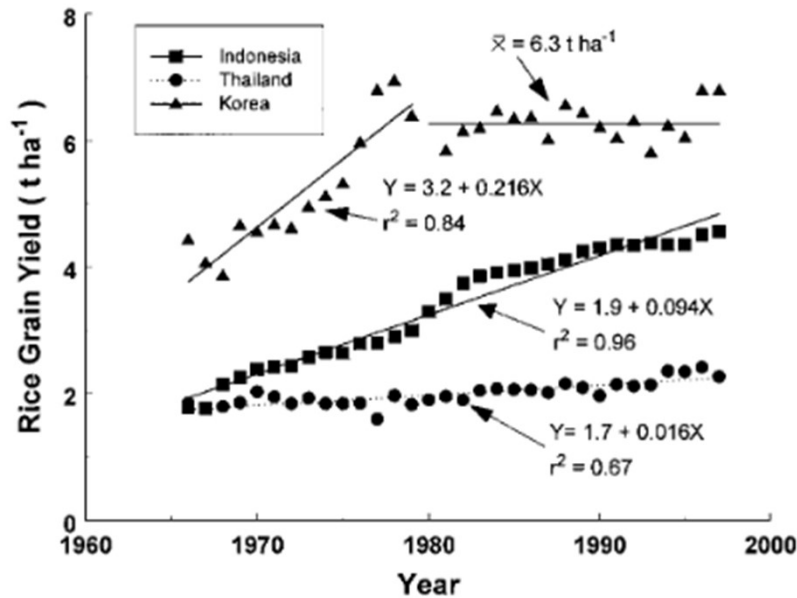


Algunas preguntas para Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 2017-2021)

¿Realmente el alcanzable es el 80% del potencial en todos los casos o cambia según el ambiente?

¿Qué factores de manejo, que el productor pueda modificar, permitirían cerrar la brecha?



Cassman (1999)
Proc. Natl. Acad. Sci. USA

Tecnologías de procesos, por ejemplo:

Tenencia

Fecha de Siembra

Tecnologías de insumos, por ejemplo:

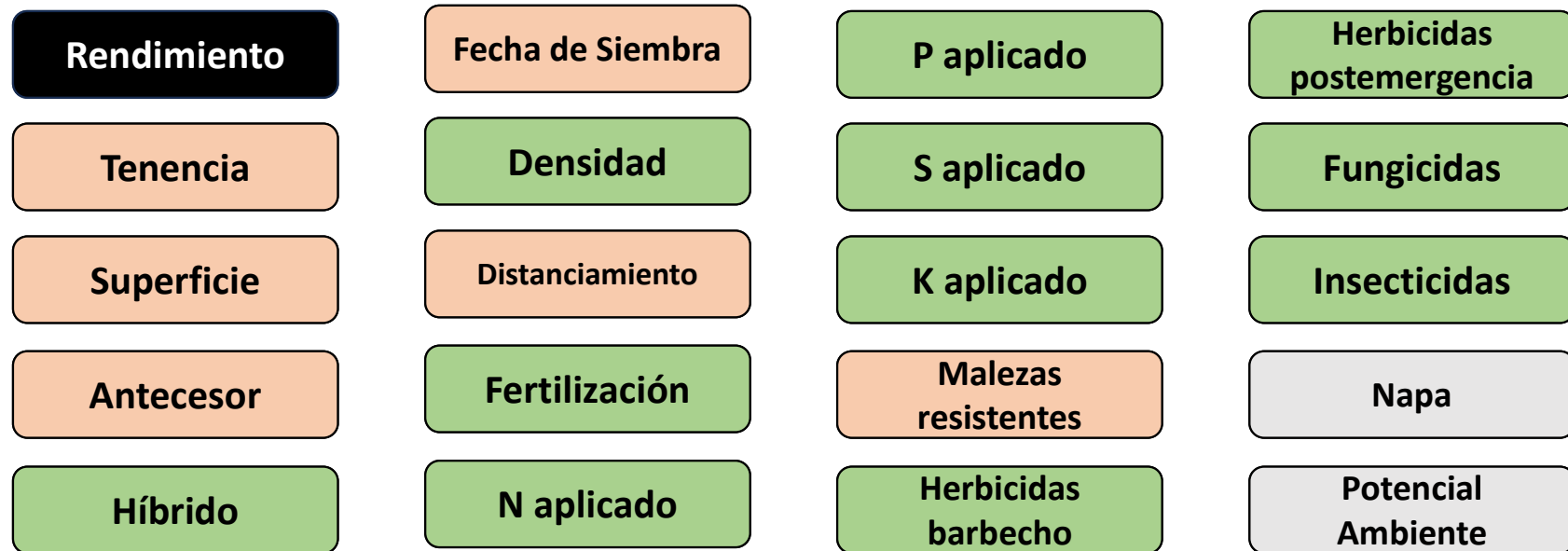
Densidad

Fertilización

¿Qué factores cerrarían la brecha?

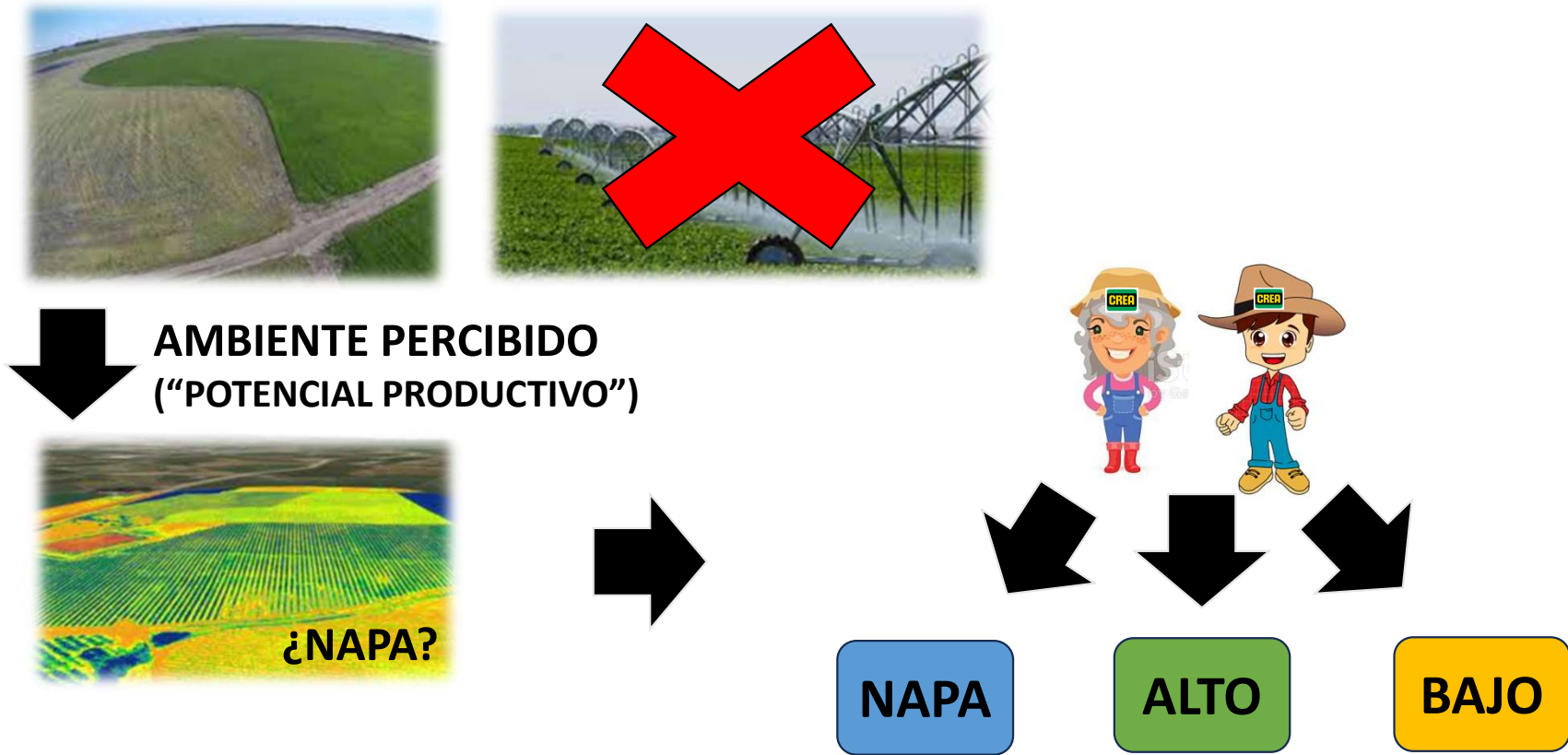
DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 2017-2021)

+250 variables de manejo
Se redujeron a aprox. 20 en maíz:



Algunas preguntas para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 2017-2021)

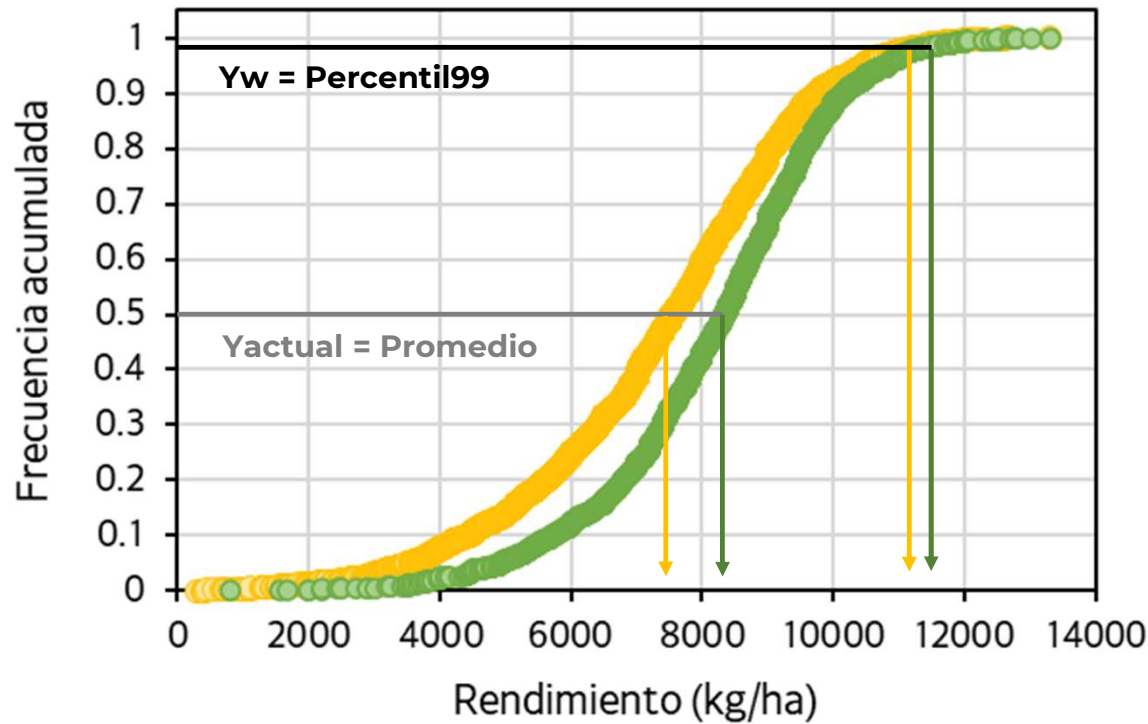


Algunas preguntas para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 2017-2021)

¿Cómo estimamos los niveles de rendimiento?

Potencial en seco y actual



● Alto Potencial

Potencial (Yw) = 11800 kg/ha
Actual (Yactual) = 8146 kg/ha

● Bajo Potencial

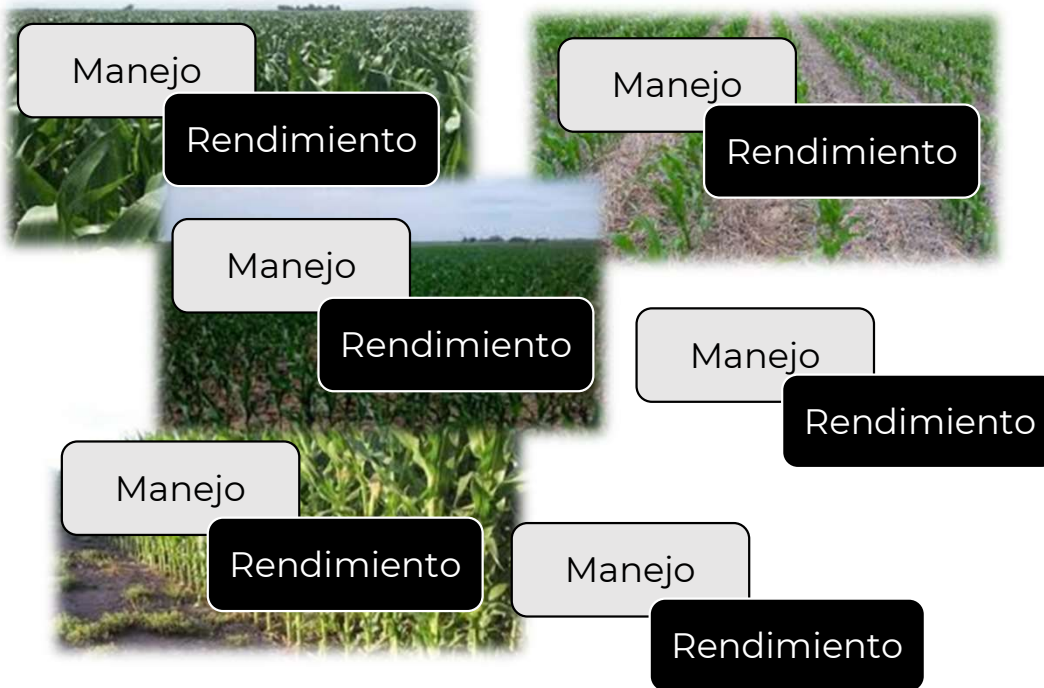
Potencial (Yw) = 11580 kg/ha
Actual (Yactual) = 7335 kg/ha

Algunas preguntas para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 2017-2021)

¿Cómo estimamos los niveles de rendimiento?

Alcanzable



Rendimiento Alcanzable:

Aquel rendimiento:

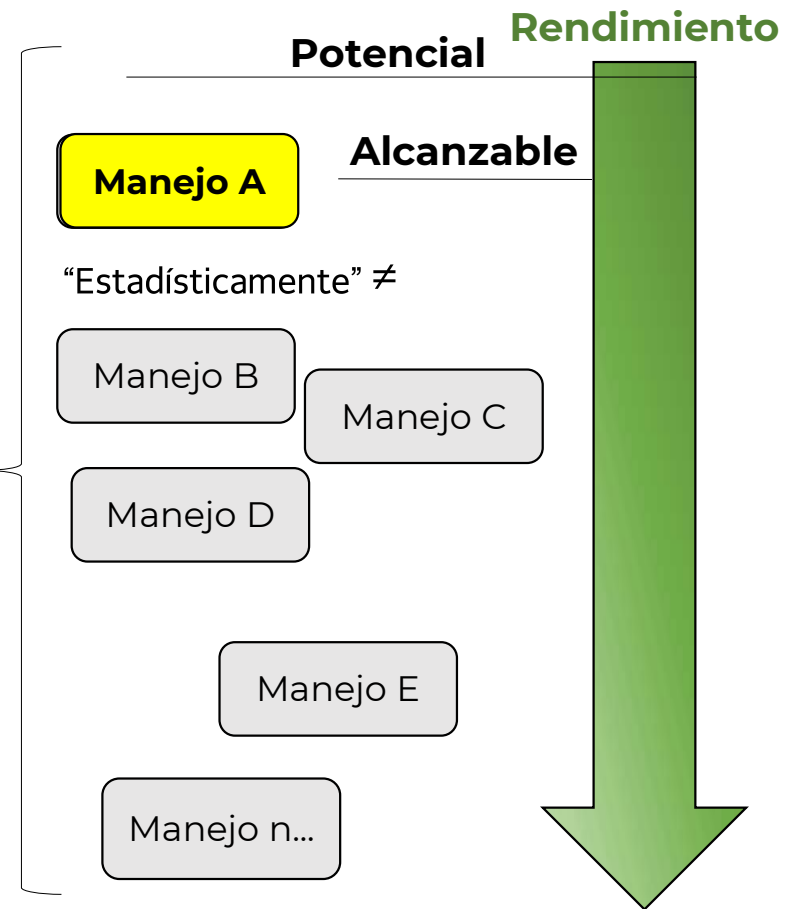
- (i) alcanzable por productores.
- (ii) en un ambiente de producción determinado,
- (iii) con un ambiente climático promedio, y
- (iv) cuando se adoptan las tecnologías agronómicas de procesos y de insumos económicamente óptimas.

Fischer (2015)
Field Crops Research

Algunas preguntas para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 2017-2021)

¿Cómo estimamos los niveles de rendimiento?
Alcanzable



Algunas preguntas para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 2017-2021)

¿Cómo estimamos los niveles de rendimiento?

Alcanzable = la técnica (ej. árboles de partición – *machine learning*)

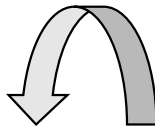
Primero = Elegir variable respuesta = brecha de rendimiento de cada lote versus el rendimiento potencial

1er nodo = todos los datos

1era separación

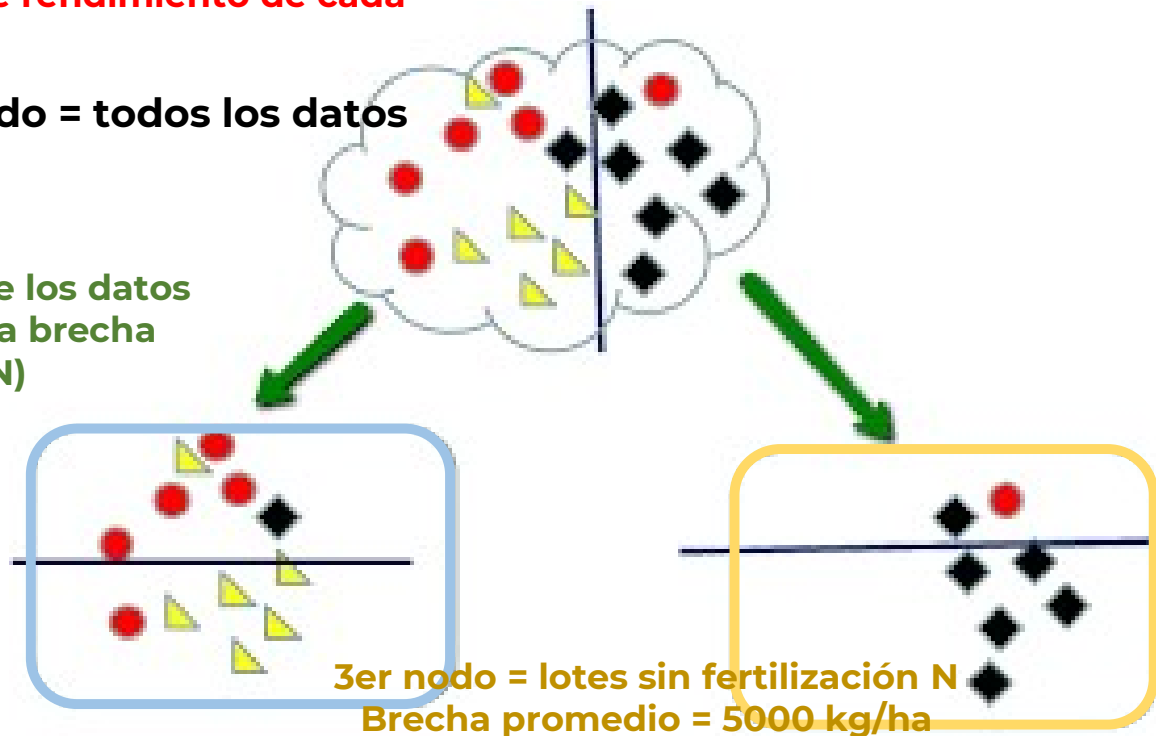
Variable de manejo que más separe los datos estadísticamente en función de la brecha (ej. con y sin fertilización N)

Repetir muchas veces según un criterio estadístico



2do nodo = lotes con fertilización N
Brecha promedio = 3500 kg/ha

3er nodo = lotes sin fertilización N
Brecha promedio = 5000 kg/ha



Algunas preguntas para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 2017-2021)

Restricciones elegidas:

- (i) el último nodo no puede contener menos del 3% de los lotes
- (ii) Minimización del error (método estadístico complejo)

Alto Potencial

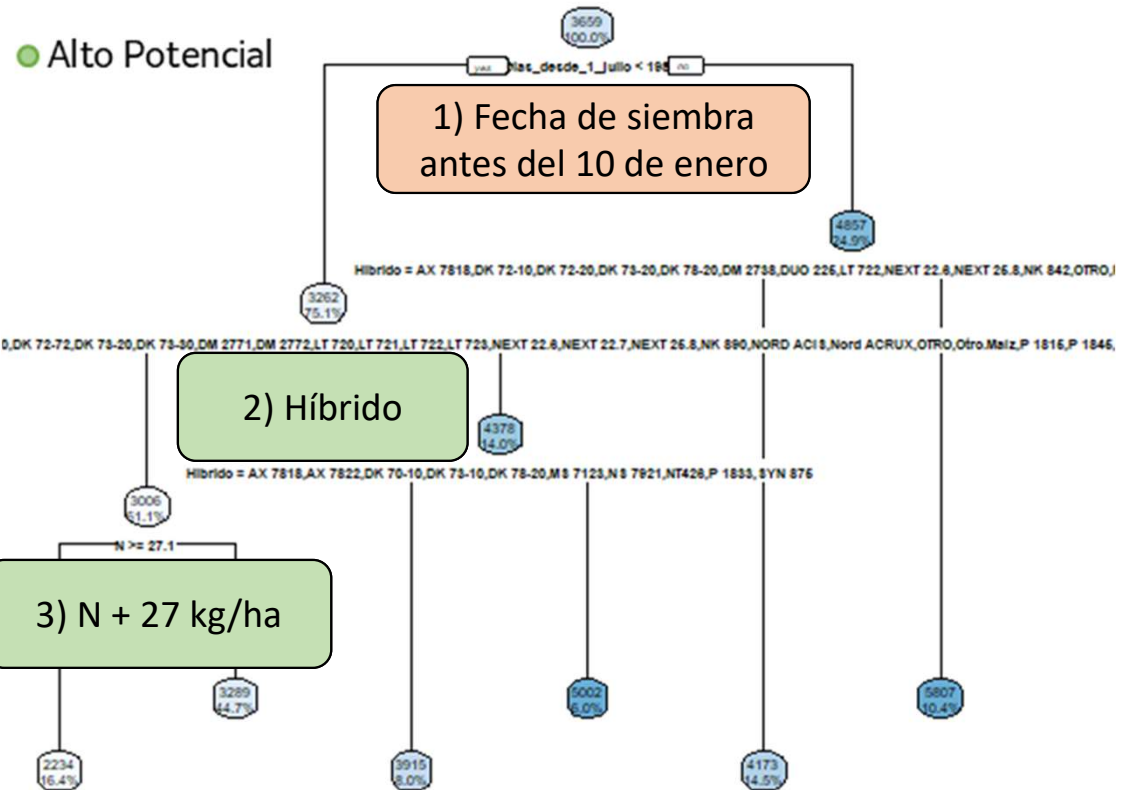
Potencial (Y_w) = 11800 kg/ha

Alcanzable (Y_{alc}):
 $11800 - 2234 = 9566$ kg/ha

$Y_{alc} / Y_w = 9566 / 11800$ kg/ha = 81%

Actual (Y_{actual}) = 8146 kg/ha

Brecha a cerrar = $9566 - 8146 = 1420$ kg/ha



Algunas preguntas para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 2017-2021)

Restricciones elegidas:

- (i) el último nodo no puede contener menos del 3% de los lotes
- (ii) Minimización del error (método estadístico complejo)

Alto Potencial

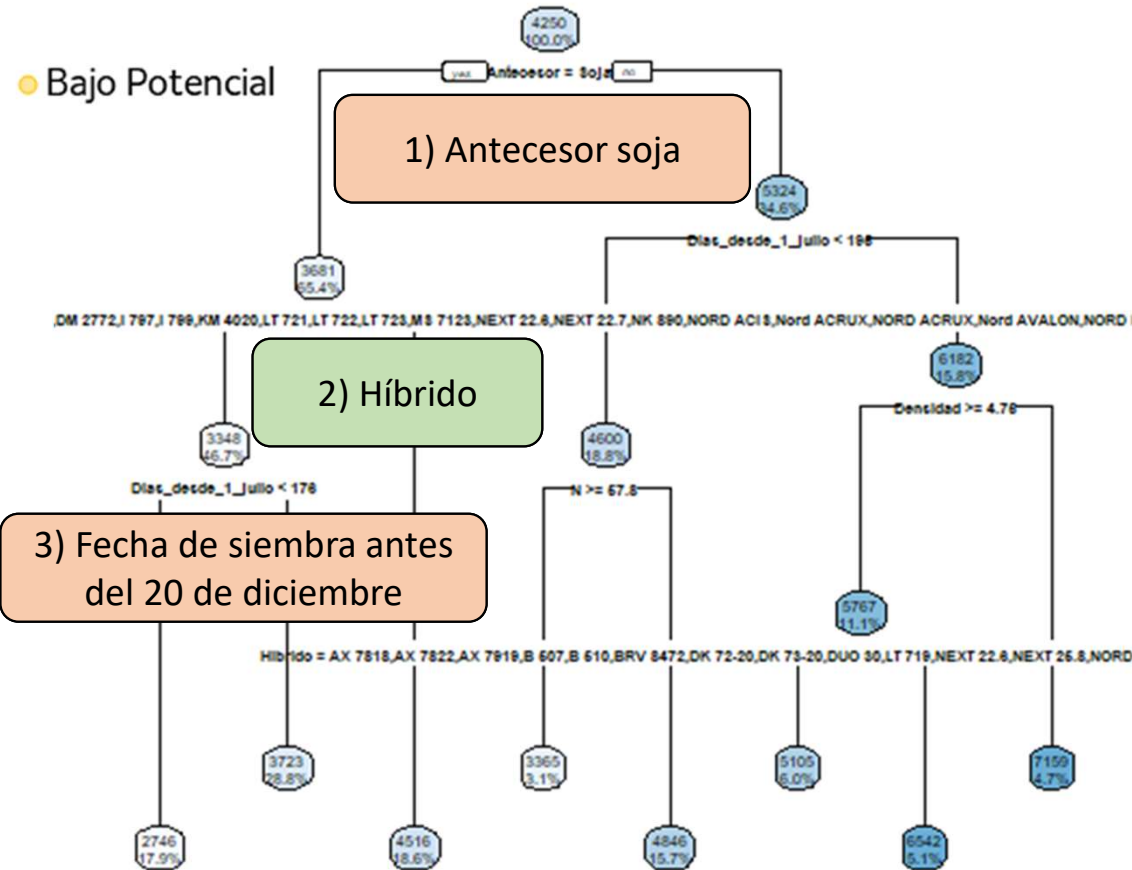
Potencial (Yw) = 11580 kg/ha

Alcanzable (Yalc):
11580 - 2746 = 8834 kg/ha

Yalc / Yw = 8834 / 11580 kg/ha = 76%

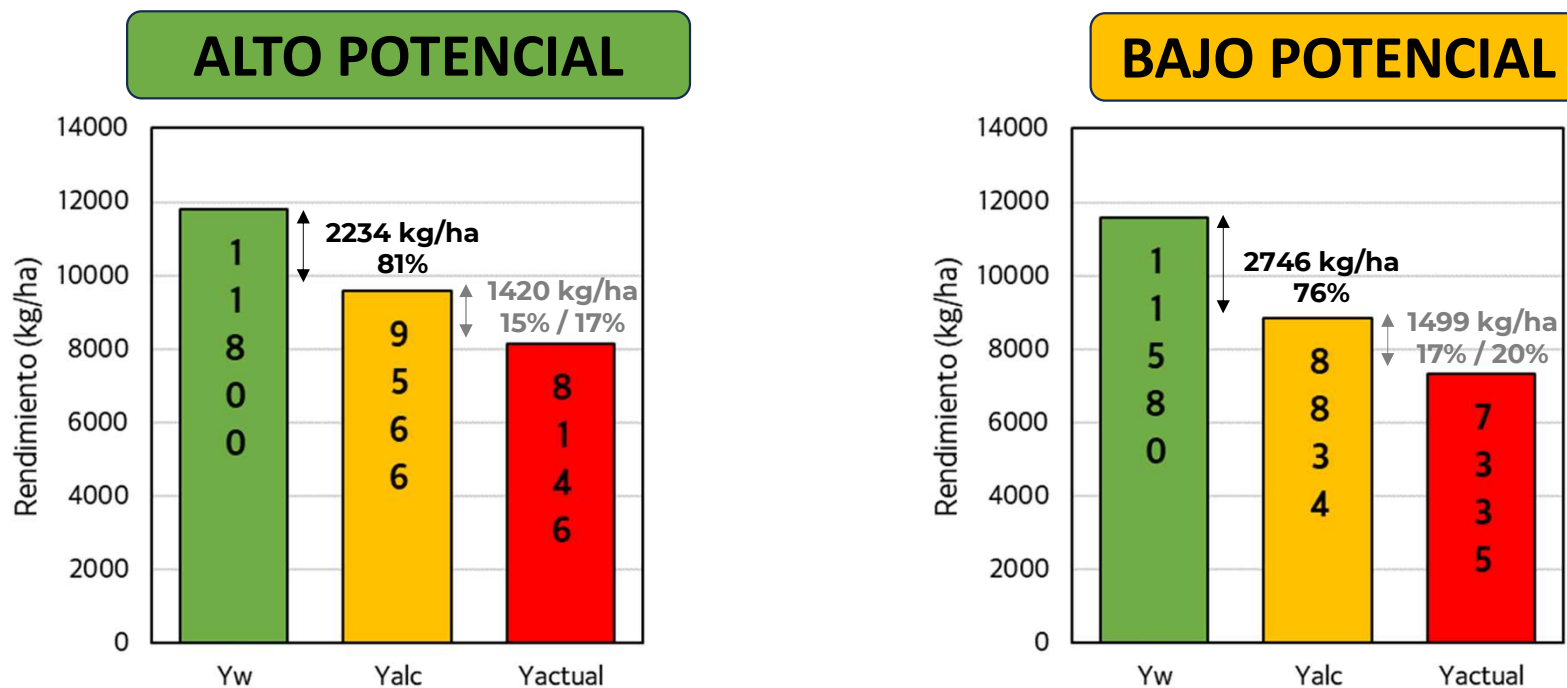
Actual (Yactual) = 7335 kg/ha

Brecha a cerrar = 8834 - 7335 = 1499 kg/ha



Algunas preguntas para maíz en Córdoba Norte

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (DAT CREA CÓRDOBA NORTE 2017-2021)



- (i) El alcanzable estuvo “alrededor” del 80% del potencial, pero esa relación disminuyó a medida que el ambiente fue más limitante en general.
- (ii) Hay bastante rendimiento que el ambiente podría “otorgar” pero no es rentable explotar.
- (iii) Hay mucho rendimiento explotable aún a través del manejo.

¿Qué factores cerrarían la brecha?

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (RAVIT 2017-2021 – DR. EMILIO SATORRE)

Factores definitorios (que determinan el rendimiento potencial):

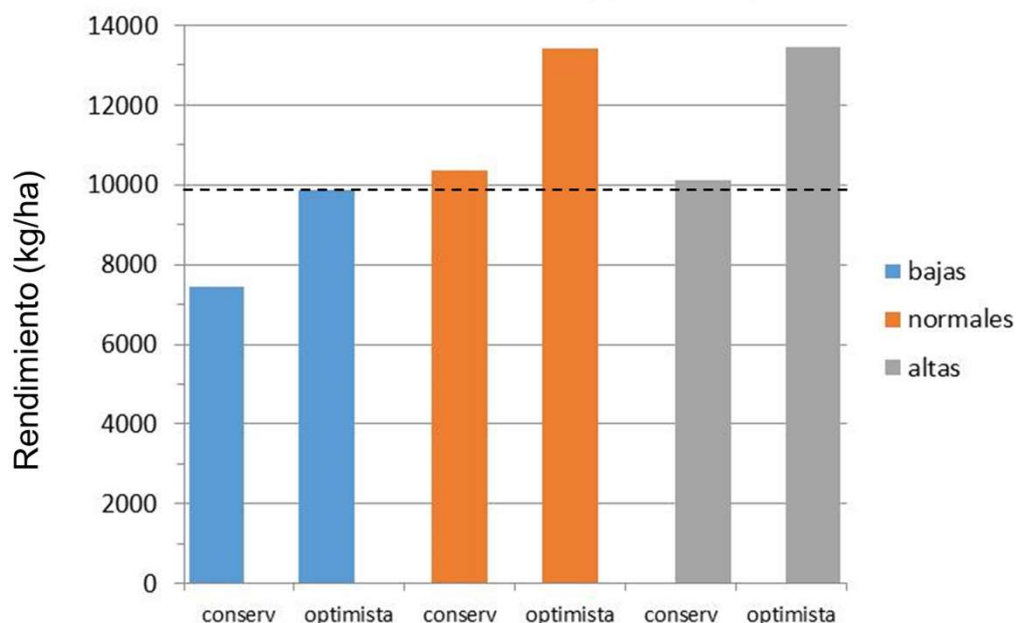
	Percentil 0-50		Percentil 50-80		Percentil 80-95		Percentil 95-100			
	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Media	DE	Signif	DMS
FS - DD 15-10 (d)	75	14	66	13	58	13	64	13	**	11
Dens. Cosecha (pl/m ²)	5.35	6	5.77	6	6.05	6	6.84	6	***	0.51

Los P>80 corresponden a fechas de siembra relativamente tempranas (con perfiles de suelo recompuestos; ver adelante) y densidades medias.

¿Qué factores cerrarían la brecha?

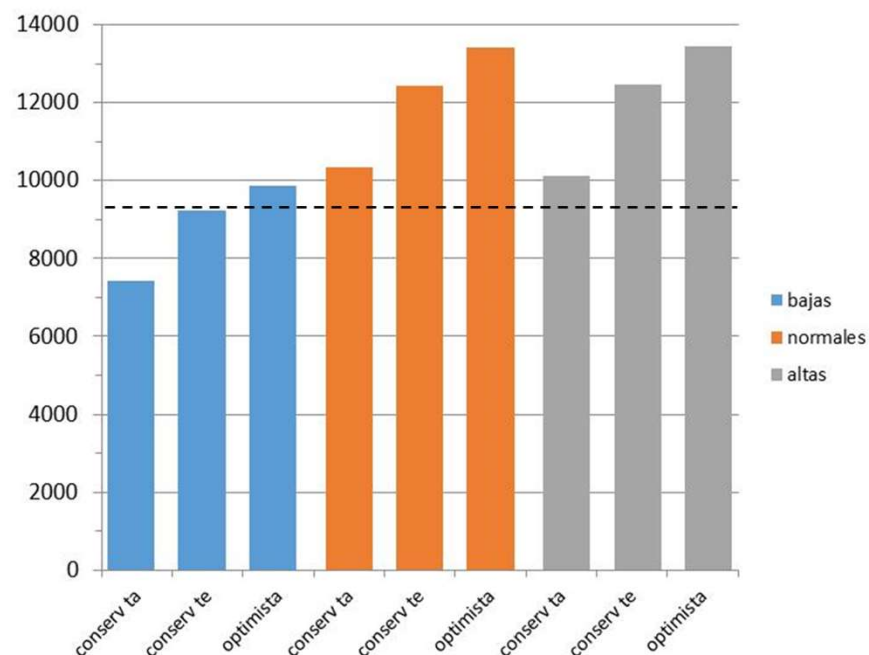
DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (RAVIT 2017-2021 – DR. EMILIO SATORRE)

Efecto de la fecha de siembra y densidad en distintos escenarios de precipitaciones (los efectos son promedios de distintas condiciones de fertilidad y protección)



Estructura	Conservadora	FS: 27/12 ; 5.3 pl/m2	DD15OCT: 73
	Optimista	FS: 27/11 ; 6.8 pl/m2	DD15OCT: 43

Efecto de la fecha de siembra y densidad en distintos escenarios de precipitaciones (los efectos son promedios de distintas condiciones de fertilidad y protección)



Conserv Te, tiene 5.3 pl/m2 a cosecha; La fecha de siembra aparece como más importante que la densidad en la definición de la estructura de maíz.

¿Qué factores cerrarían la brecha?

DATOS DE LOTES DE PRODUCCIÓN (RAVIT 2017-2021 – DR. EMILIO SATORRE)

Factores limitantes (que determinan los altos rendimientos alcanzables):

	Percentil 0-50		Percentil 50-80		Percentil 80-95		Percentil 95-100		Signif	DMS
	Media	EE	Media	EE	Media	EE	Media	EE		
Cob. Rastrojo (%)	51	23	66	22	78	22	66	25	**	21
N FERTILIZANTE (kg N/ha)	24	6	37	7	29	10	78	15	*	29
N ALCANZADO (kg/ha)	112	7	132	10	136	14	165	21	*	39
P FERTILIZANTE (kg P/ha)	4	2	8	3	15	4	15	7	(*)	13
RIEGO (mm)	1.4	2	3	3	3	2	12	5	((*))	9
PP 16-12 A 15-1 (mm)	157	7	156	9	143	13	205	13	*	35

Umbrales de P>80 corresponden a niveles de N alcanzado y P agregado significativos. También a riego o lluvias en vegetativo (estados iniciales).



RAVIT
Red Agropecuaria
de Vigilancia Tecnológica

CULTIVOS CON FUTURO

2023



Brechas de Rendimiento:
Bases, aplicaciones y ejemplos
para maíz en Córdoba Norte

Dr Diego Hernán Rotili

Auspician:

