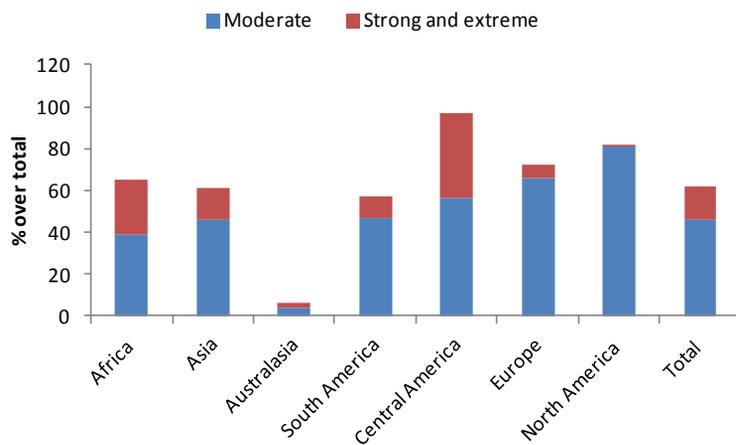




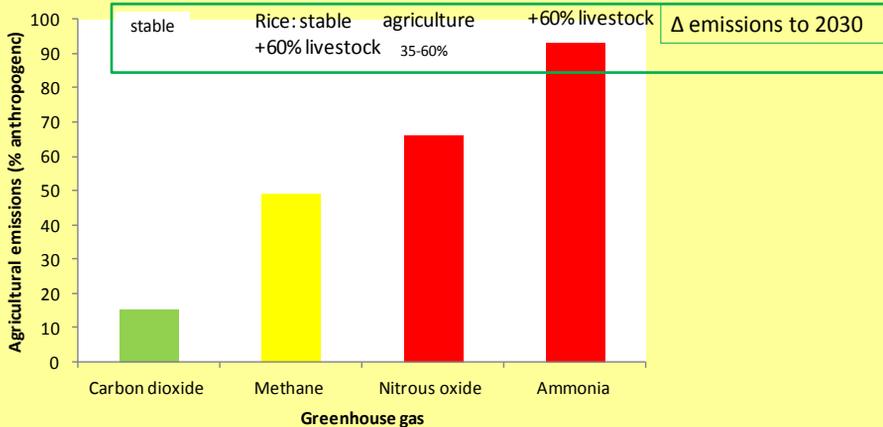
## El problema en estudio

- “La humanidad, se encuentra hoy en un dilema sin aparente solución, entre el fantasma de la faltante de alimentos para una demanda creciente en cantidad y calidad, o una destrucción de los recursos naturales necesarios para producirlos”.

## Global Assessment of Human-induced Soil Degradation (GLASOD)



## Agriculture's contribution to global greenhouse gas and other emissions



Main sources: IPCC, FAO estimates.

**Our main problem: Global agricultural production needs to be increased by at least 70% to meet the demand expected by 2050**

**Expanding the cultivated area.**

new areas, mainly natural ecosystems and marginal land prone to degradation

**intensifying the use of existing farmland**

crops  $\text{ha}^{-1} \text{y}^{-1}$

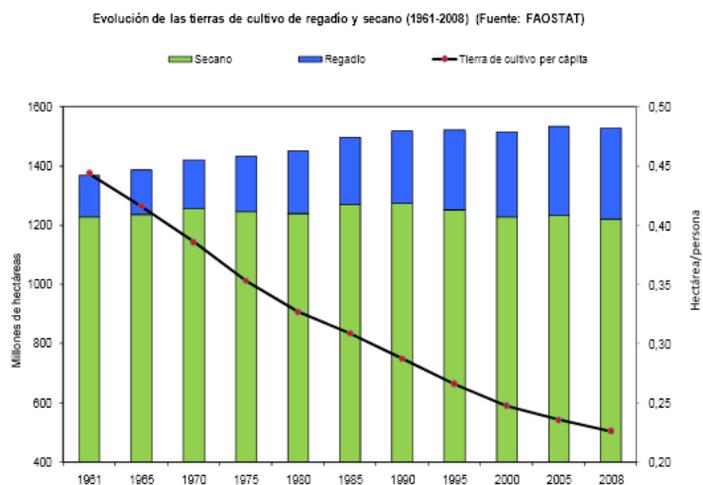
**narrowing yield gaps**

crop management

**increasing yield potential**

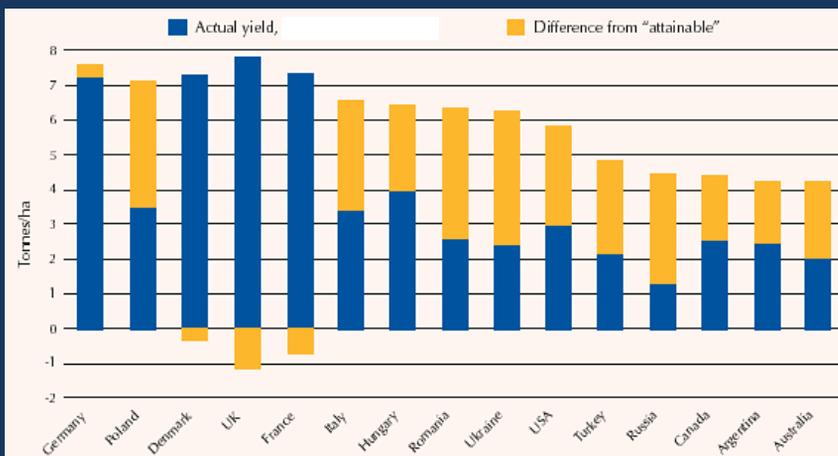
crop breeding

Figura 1: Evolución de las tierras de cultivo de regadío y secano (1961-2008) (Fuente: FAOSTAT)

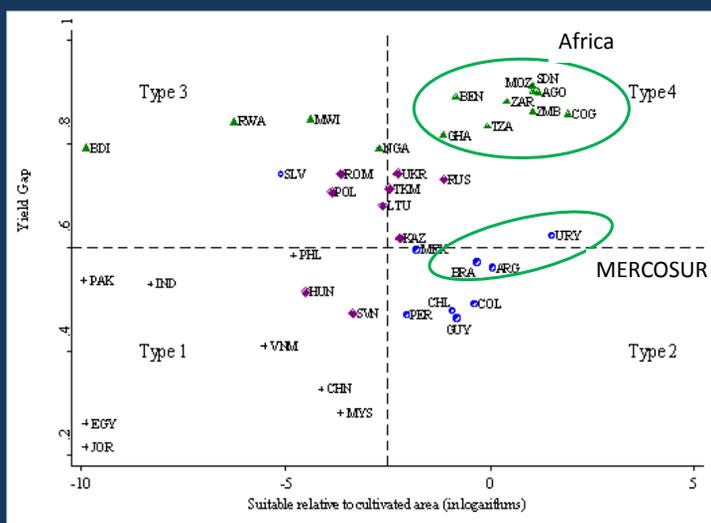




### Wheat: actual and agro-ecologically attainable yields (rainfed, high input)

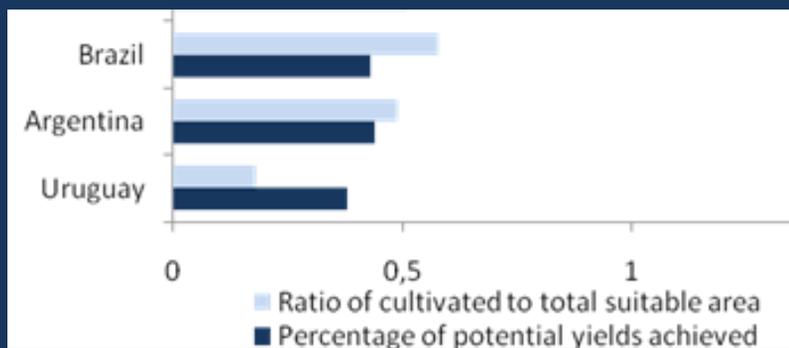


### Suitable relative to cultivated land and yield gaps





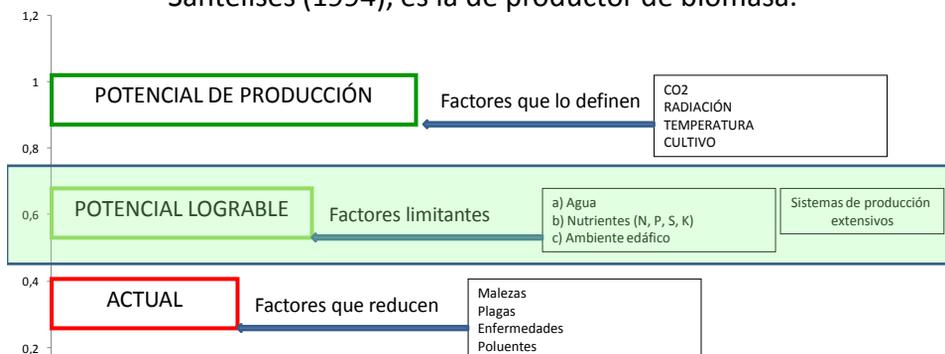
## Yield gaps and land availability for agriculture in MERCOSUR



## “Intensificación sostenible de la agricultura”

- Implica identificar los factores del suelo que limitan obtener del rendimiento alcanzable.
- Implica establecer indicadores objetivos (bench mark) a lograr en los sistemas de producción de manera de sostener la actual ganancia de rendimiento durante los próximos 40 años.

Una de las seis funciones del suelo descritas en el concepto de sustentabilidad y resiliencia del suelo definidas por Blum y Santelises (1994), es la de productor de biomasa.



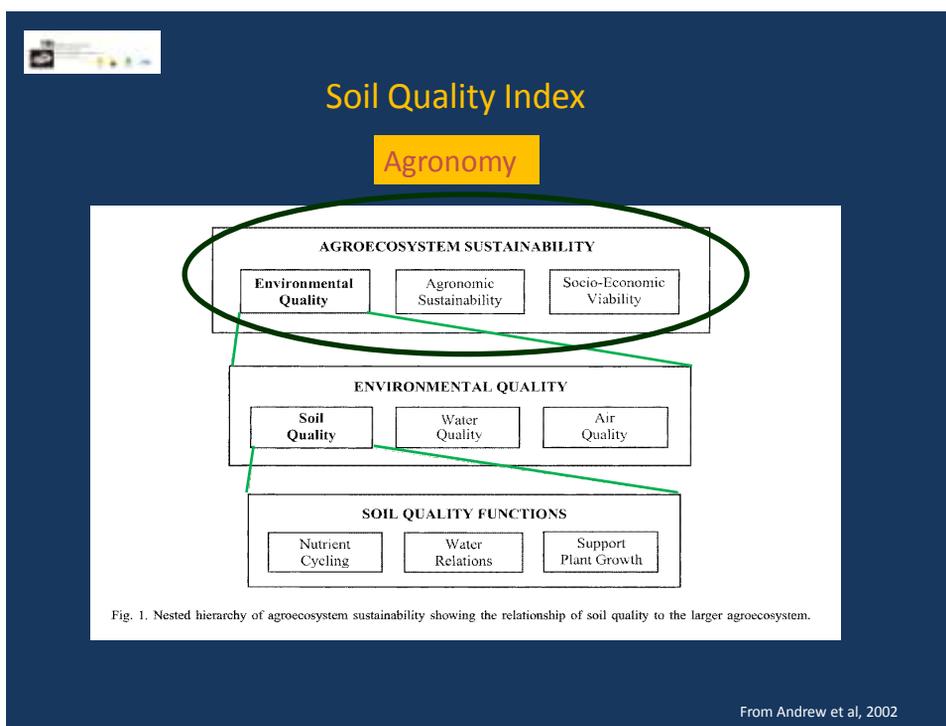
factores limitantes: están los relacionados con el suelo y su calidad, como capacidad de almacenaje y suministro de agua y nutrientes, aireación, volumen potencial explorado por raíces, dureza.

## Calidad de suelo

- La Conferencia Internacional de evaluación y monitoreo de calidad del suelo (Rodale Institute, 1991) estableció tres componentes a integrar en Índices de calidad de suelo (SQI):
  - 1- capacidad para sostener la producción (componente productividad);
  - 2- capacidad para atenuar contaminación ambiental (componente ambiental);
  - 3- relación entre calidad del suelo-planta-animal-salud humana (componente salud).

# Calidad de suelo

- la FAO (1993) define cuatro criterios para el manejo sostenible del suelo:
  1. Mantener o mejorar la producción y los servicios;
  2. Reducir el riesgo de producción;
  3. Proteger el potencial de suministrar recursos naturales;
  4. Ser económicamente viable y socialmente aceptable.
- .....está definida por la función que cumple en un determinado ecosistema, .....las que resultan de las propiedades físicas, químicas y biológicas, ..... que permiten sostener la productividad biológica (componente de productividad), mantener la calidad ambiental (componente ambiental) y promover la salud vegetal y animal (componente de salud)



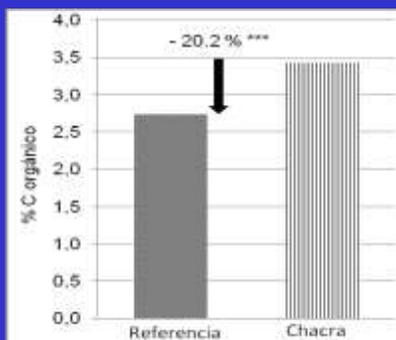


Figura 7. Valores promedio de C orgánico en 108 chacras agrícolas y respectivos valores de referencia en 0-15 cm en Soriano y Río Negro

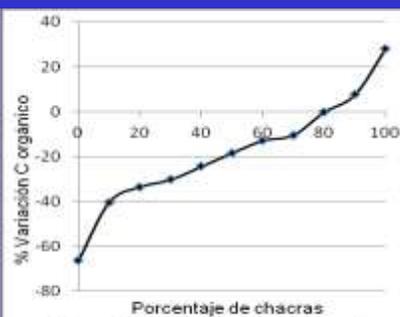


Figura 8. Distribución de la diferencia (C orgánico chacra - C orgánico referencia) en 108 chacras agrícolas en Soriano y Río Negro (0-15 cm)

Moron, 2012

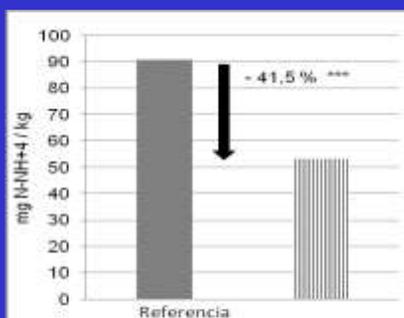


Figura 9. Valores promedio de PMN en 108 chacras agrícolas y respectivos valores de referencia en 0-15 cm en Soriano y Río Negro.

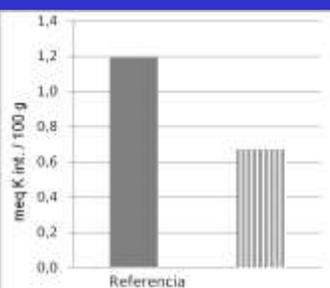


Figura 11. Valores promedio de K intercambiable en 108 chacras agrícolas y respectivos valores de referencia en 0-15 cm en Soriano y Río Negro.

Moron, 2012

## Calidad de suelos y rendimiento

- Se relacionan?
- Dentro de qué rango?
- Hay valores críticos a mantener?
- ALGUNOS EJEMPLOS

### Rendimiento de trigo con y sin laboreo con nitrógeno fijo o variable (Ernst *et al*, 1990)

	HISTORIA DE CHACRA		
	PRADERA	Ch. nueva	Ch vieja
ARADO	3900 a	2210 a	1370 b
SD	2430 c	1780 b	1150 b
SD+N	3480 b	2500 a	1985 a

## Distribución de rendimiento de trigo en función de historia de chacra en 1987

(Ernst et al, 1990)

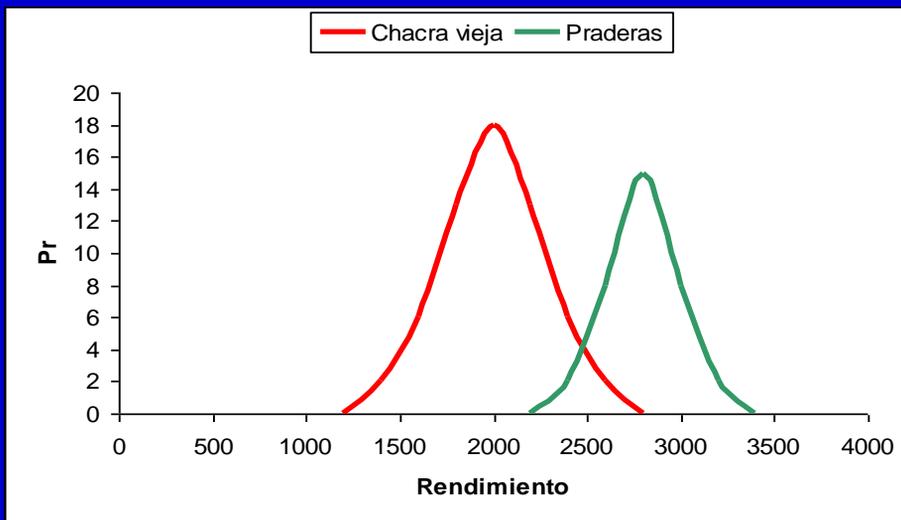


Tabla 1. Efecto lineal del Carbono Orgánico (CO) y de otras variables sobre las variaciones anuales de rendimiento (kg/ha) de Trigo, Cebada, Girasol y Sorgo. Efecto del CO en % de reducción de los rendimientos promedios.

Cultivo	CO	Año	Fert-N	Bray	Rastrojo Sorgo	Época	Rinde Promedio	Efecto Relativo de CO
	(%)	(año)	(kg/ha)	(ppm)	(kg/ha)	1ra ó 2da	(kg/ha)	(%)
	Kg/ha por unidad de cambio de la variable explicativa							
TRIGO	1552	41.8	11.4	28.6	-0.140		1968	-79
CEBADA	1684	36.7	3.0	31.9	-0.116		2155	-78
GIRASOL	576	5.5	2.4	7.4		358	826	-70
SORGO	2467	83.9	-9.5	97.5		2767	3347	-74

Díaz, Rosello, et al., 2010

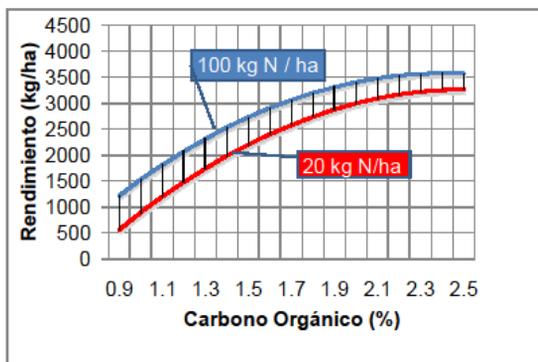


Figura 2. Interacción CO y Fertilización nitrogenada (20 vs 100 kg/ha) bajo un modelo con términos cuadráticos para CO y Fertilización nitrogenada.

Díaz, Rosello, et al., 2010

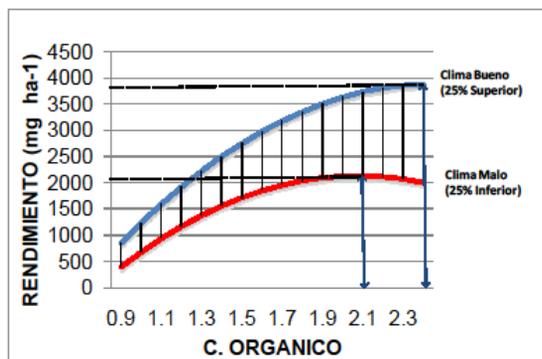


Figura 3. Interacciones del CO con ambiente climático

Díaz, Rosello, et al., 2010

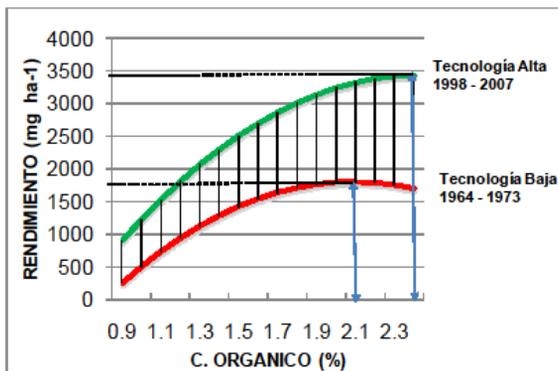
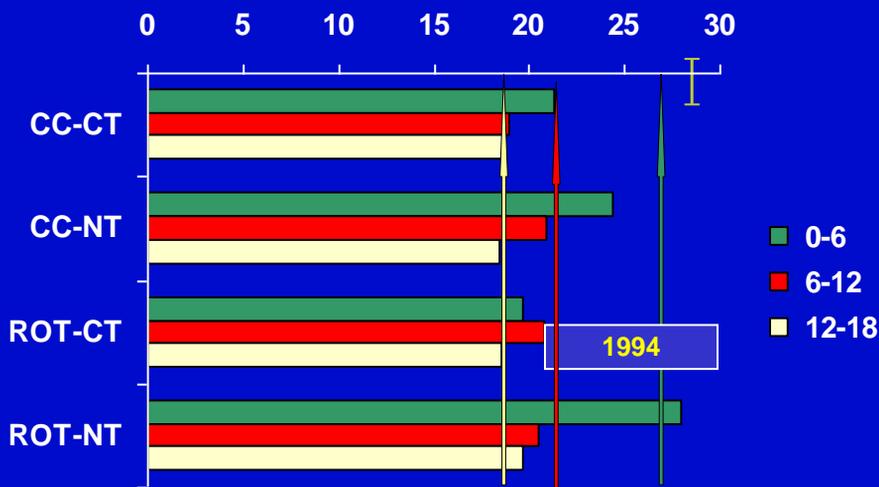


Figura 4. Interacción del CO con Ambiente Tecnológico.

Díaz, Rosello, et al., 2010

**Concentración de Carbono Orgánico en el suelo (0-18 cm) en respuesta al tipo de laboreo y rotación o no CON pasturas.**  
 Experimento de largo plazo Paysandú, Uruguay (1993-2002)



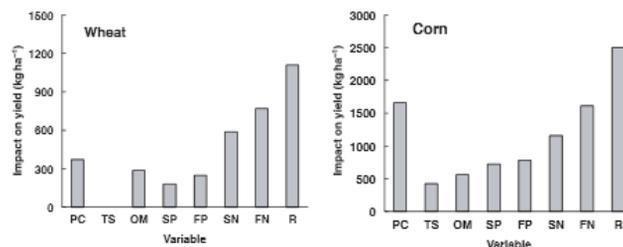


Fig. 4: Direct impact of soil and management variables and rainfall on yield among low and high levels of the variables predicted by models in Fig. 1 ( $R^2 = 0.67$  for wheat and  $R^2 = 0.51$  for corn). Indirect impact of OM included estimated by regressions of OM on SN ( $R^2 = 0.28$  for wheat and  $R^2 = 0.11$  for corn) and the models in Fig. 1. OM, organic matter; SN, soil nitrogen; FN, fertilizer nitrogen; SP, soil phosphorus; FP, fertilizer phosphorus; R, rainfall; PC, previous crop; TS, tillage system

Alvarez y Grigera, 2005

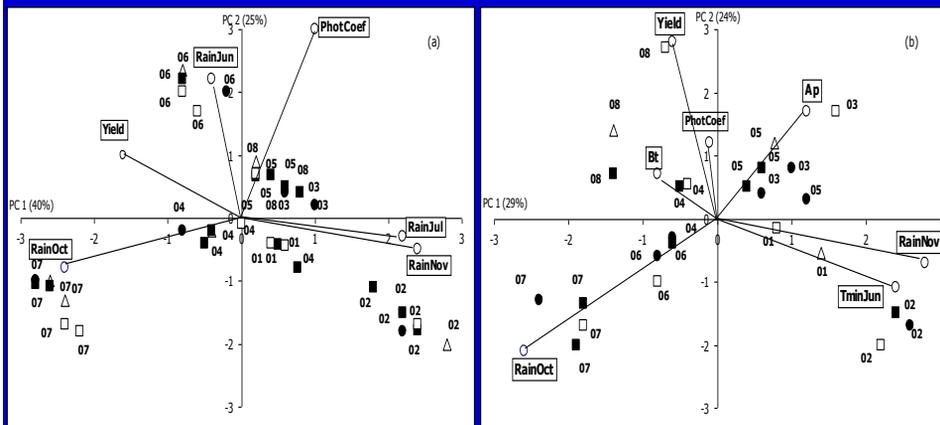
J. Agronomy & Crop Science 191, 321—329

**Table 2. Effect of tillage system and crop-pasture rotation on grain yield ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) of wheat, soybean, barley, sorghum and sunflower in the long-term experiment in Paysandú, Uruguay (2001-2008).**

Crop	Treatment <sup>1</sup>			
	CT <sub>C-LP</sub>	NT <sub>C-LP</sub>	NT <sub>C-SP</sub>	NT <sub>CC</sub>
Wheat	3.04 a	3.17 a	3.22 a	3.22 a
Soybean	1.51 b	1.89 ab	1.81 ab	2.10 a
Barley	3.72 a	2.74 ab	2.56 b	2.86 a
Sorghum	4.26 a	4.89 a	5.10 a	5.04 a
Sunflower	2.88 a	2.59 ab	2.20 b	2.29 ab

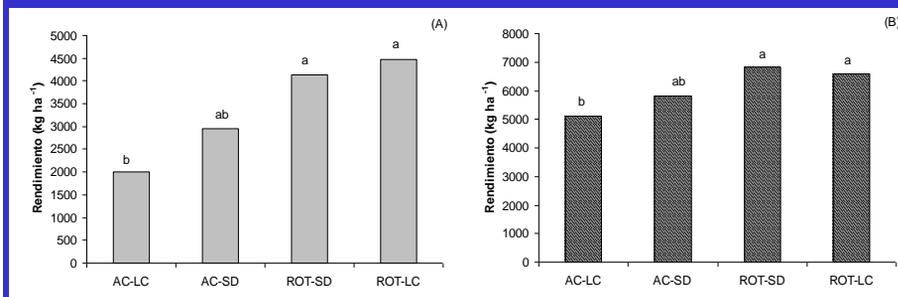
Ernst, Siri, Cadenazzi, 2009

## Efecto de la combinación año-tratamiento sobre los CP en trigo y cebada (Ernst y Siri, 2010)

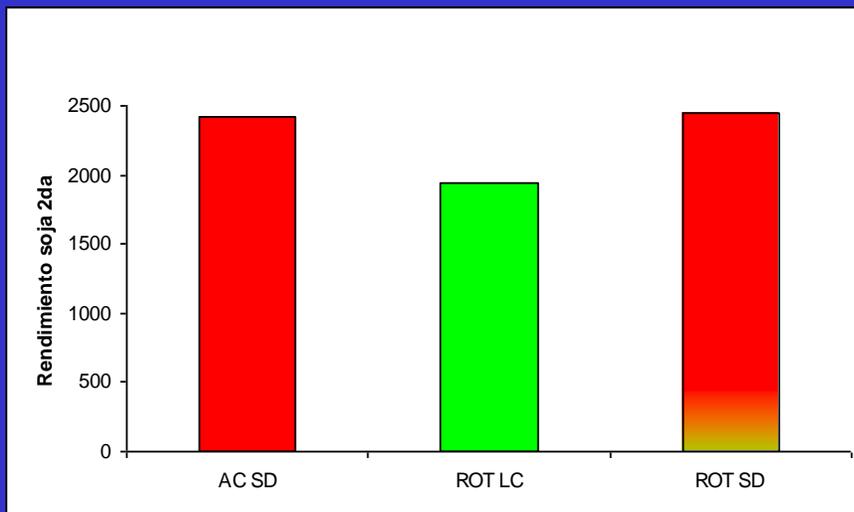


Circulo vacío=LCC-LP; círculo lleno=NTCC; cuadrado lleno=NTC-LP; cuadrado vacío=NTC-SP

Rendimiento de grano de trigo (A) y (B) maíz sembrados como cabeza de rotación con laboreo (rotación-laboreo), sin laboreo (rotación- siembra directa), agricultura continua sin laboreo (agricultura-siembra directa) y agricultura continua con laboreo (agricultura-siembra directa) a igual dosis de nitrógeno al cultivo (Ernst y Siri Prieto, 2011)

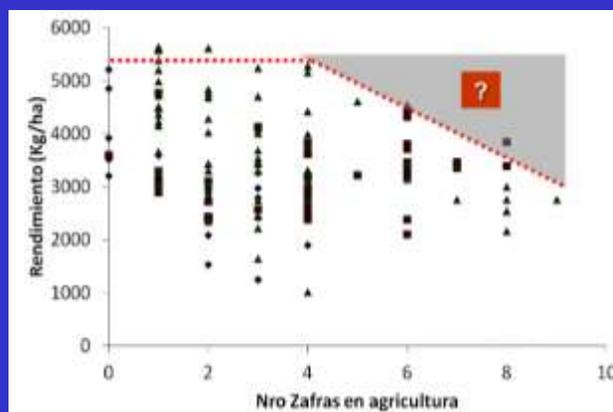


RENDIMIENTO DE SOJA EN AGRICULTURA CONTINUA CON Y SIN LABOREO (ACLC; ACSO) Y EN ROTACION CON PASTURAS (ROTLA; ROTSO).



Primer cuantificación del problema:  
el resultado de los rendimientos.

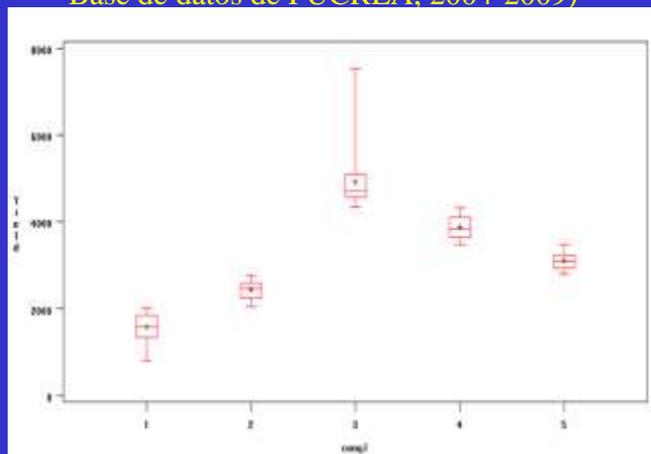
Efecto años de agricultura. Cultivo de invierno 2010 (FUCREA).



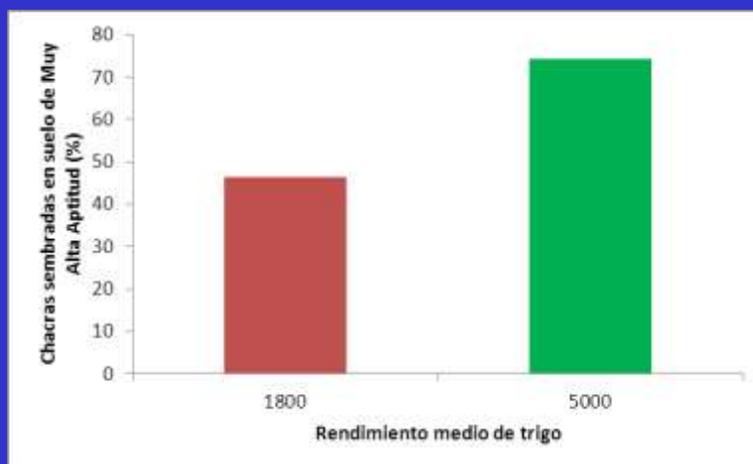
30

Fuente: Mazzilli 2011.

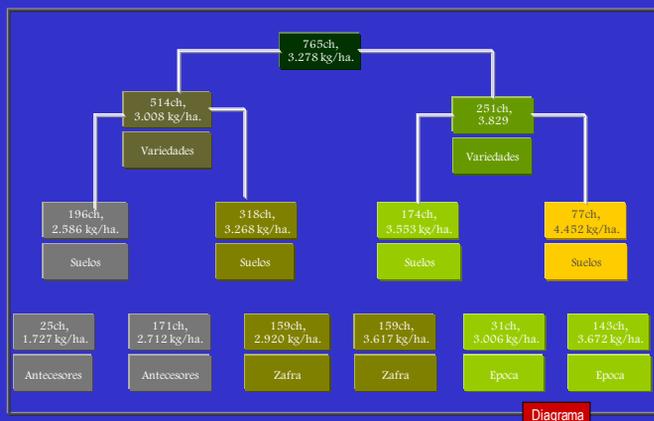
Grupos (cluster) de chacras de trigo definidos por  
rendimiento de trigo (Gonzalez, 2011)  
Base de datos de FUCREA, 2004-2009)



Rendimiento medio de grupos de clasificación  
(cluster) por rendimiento de trigo en función de la  
aptitud de uso del suelo (González, 2011)



## Arbol de clasificación y regresión para rendimiento de trigo en función de variables de manejo (Gonzalez, 2011)



## Calidad de suelos y rendimiento

- Se relacionan?
- Dentro de qué rango?
- Hay valores críticos a mantener?



Fig. 1. Location of the sites from which data were used in the study. See Table 1 for site names.

47 European studies, 563  
observations

A. Van den Putte et al. / *Europ. J. Agronomy* 33 (2010) 231–241

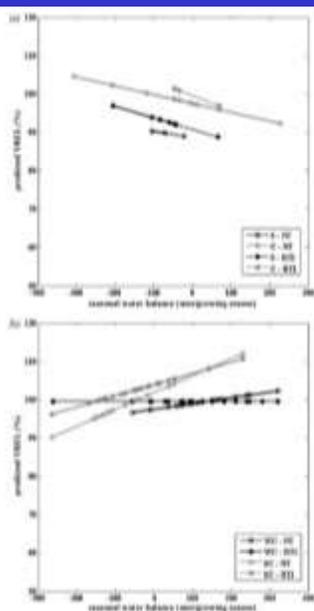


Fig. 6. Predicted YIELD (%) against the measured water balance (mm day<sup>-1</sup>) for data with crop rotation and the average values of interaction effects (a) predictions for a winter wheat crop, (b) 2007, (c) 2008, (d) 2009, (e) 2010; (f) predictions for a winter wheat crop and the average values of interaction effects (a) predictions for a winter wheat crop, (b) 2007, (c) 2008, (d) 2009, (e) 2010.

A. Van den Putte et al. / *Europ. J. Agronomy* 33  
(2010) 231–241

## Soil Quality Assessment of Tillage Impacts in Illinois

M. M. Wander\* and G. A. Bollero

Soil Sci. Soc. Am. J. 63:961-971 (1999).

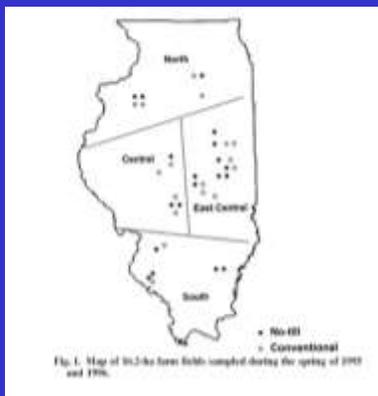


Fig. 1. Map of Illinois four tillage zones sampled during the spring of 1993 and 1996.

Table 3. Principal component scores based on 20 standardized uncorrelated variables from all minimum data set categories. Only principal components with eigenvalues  $>1$  and that explain  $>5\%$  of the total variance were retained.

	Principal component				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Ergosterol	1.70	1.76	1.61	1.24	1.17
Degradation	0.30	0.13	0.05	0.07	0.06
Standard scores of five retained eigenvalues					
PC1-C	50	5	5	-6	1
MPW10	40	15	2	-11	20
PC1-N	40	2	14	-2	20
Total N	40	-5	20	-3	10
Organic C	32	14	31	-14	20
Residue C	32	4	-21	-6	5
Residue N	20	24	2	-10	1
Biogrowth	20	22	-13	-11	-10
PC3	10	2	-3	-4	-17
Conductivity	10	-17	2	11	10
K	10	-4	10	-2	0
PC2-N	10	140	0	-2	0
PC2-C	10	10	-11	2	-2
pH	-2	5	-1	16	10
Ce	-4	-15	10	-11	10
P	-4	-11	10	17	-10
Available N	-12	15	1	10	17
Soil P-N	-12	19	-2	10	-5
MPW10	-20	4	-11	10	-15
Soil depth	-20	20	10	10	-10

PC1-N, particulate organic carbon; MPW10, mean weight per diameter; PC2-N, potentially mineralizable N; PC2-C, potentially mineralizable C; Ce, rate of infiltration for a second application of 44.0 ml 15 feet of water; MPW10, mean weight per diameter.

† Only principal components with eigenvalues  $>1$  and that explain  $>5\%$  of the total variance were retained.

‡ Standard deviation parameters with significant loadings on the within versus principal component.

§ The infiltration rate was strongly positively affected by water infiltration.

Table 4. Region and tillage effects on factor scores. Twenty retained physical, chemical, and biological parameters were included in the analysis. Differences between means were determined using least significant differences determined at the 0.05 significance level.

Factor†	Mean factor value				
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Region					
CE	0.010a	-0.000	0.240a	0.040a	-0.270a
CE	0.020a	0.000	0.041a	0.040ab	-0.10a
NE	0.190a	-0.100a	-0.411b	0.041ab	0.101a
NE	0.010a	0.000a	-1.100a	0.320a	-0.000
Tillage					
NT	0.790a	0.302a	0.040a	0.302b	0.050a
NT	0.710b	0.220a	0.110a	0.200a	0.000a
CT	-1.001a	-0.300b	0.010a	0.010ab	-0.000a

† CE, central region; NE, north-central region; NE, southern region; NE, southern region; NE, north-central; NT, no-tillage; CT, conventional tillage.

‡ Values within columns and factor (region or tillage) category and followed by the same letter are significantly different at the 0.05 of probability.

## Soil Quality Assessment of Tillage Impacts in Illinois

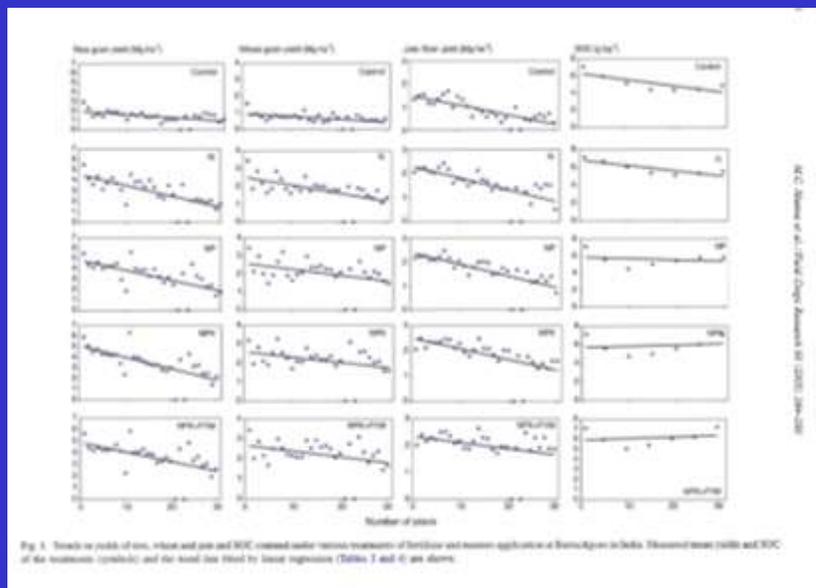
M. M. Wander\* and G. A. Bollero

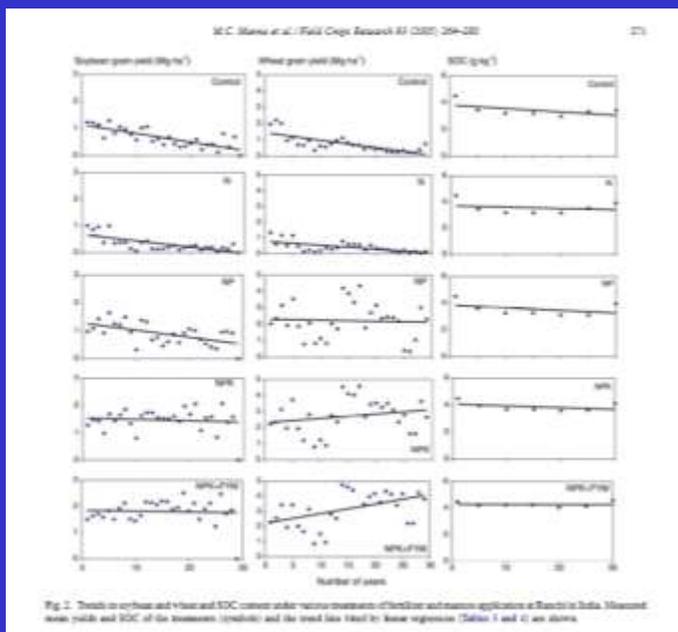
Soil Sci. Soc. Am. J. 63:961-971 (1999).

## Ejemplos de estudio de ICS

Autor	Definición del MSD	Transf.	Integración	Variables de manejo	Relación SQI con variables objetivos
Andrews et al., 2003	Opinión de Expertos	SI	SI	Convencional vs orgánico Lado*lado	Efecto significativo de los tratamientos sobre los SQI pero no sobre el rendimiento.
Andrew et al., 2002	Compara EO y PCA	SI	SI	SFS Project 1988-1996 cuatro manejos	Significativa para retorno neto y no significativa para rendimiento
Andrews et al., 2002	PCA	SI	SI	11 granjas con evaluación	Indicadores explican rendimiento y retorno. SOM y EC
Aparicio y Costa, 2007	Pearson y stepwise			Tres predio diferenciados por suelos * Chacras con distintos años	Años con agricultura relacionado con conductividad hidráulica y MWD
Bastida et al., 2008	revisa				
Kang et al., 2005		SI	SI	Tipo de fertilizantes en el largo plazo	
Montechia et al., 2011	PCA as	no	no	Pristino vs agricultura	Efecto negativo agricultura
Bohanec, et al., 2007	EO	SI	SI		

Indicadores: pH, MWD, WSA, SOM, Olsen-P, PMN, EC, SAR, TN, N-NO<sub>3</sub>, Kint, cic, Ca, Mn, Fe MBN

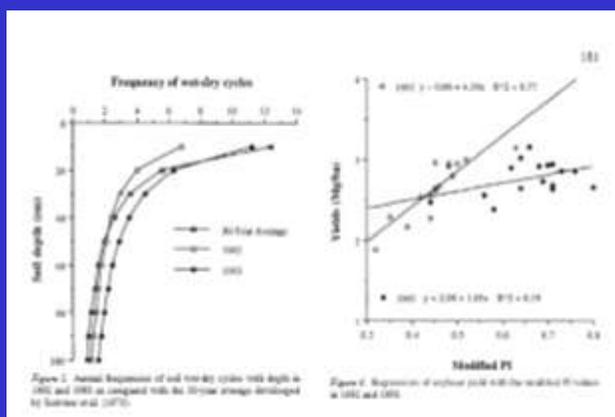




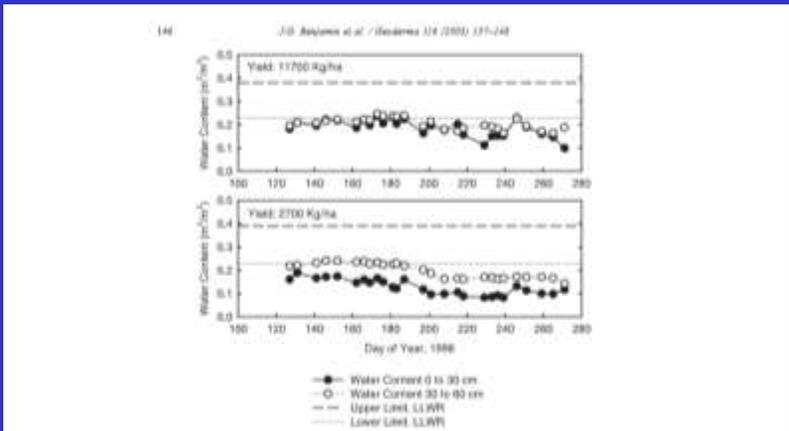
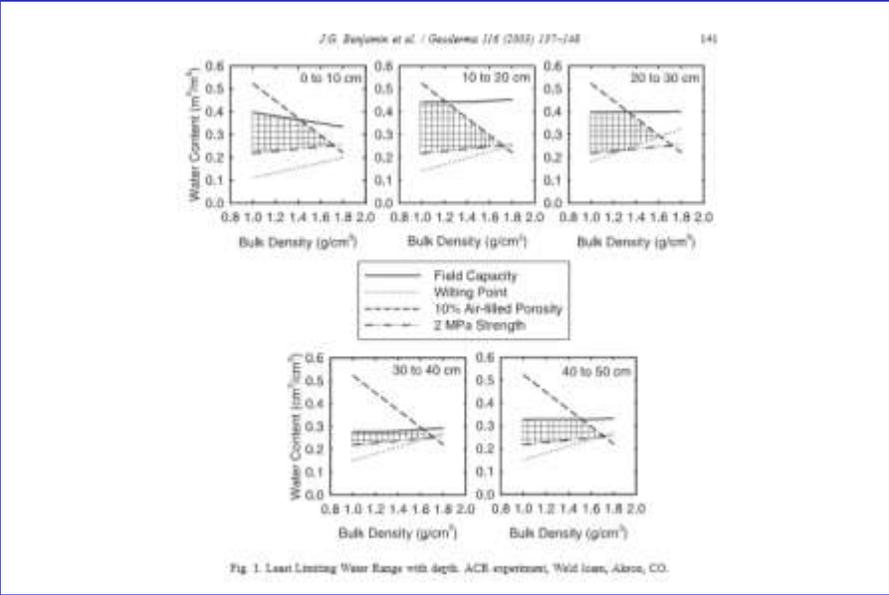
$$PI = \sum(RD \times SPAWC \times SBD \times SpH \times Saeration \times Swater)_i$$

In 1992 yield = 1.00 + 2.84 (PI) R2 = 0.57

In 1993 yield = 2.84 - 0.12 (PI) R2 = 0.003



Yang et al., 2003  
*Plant and Soil* **250**: 175–182.



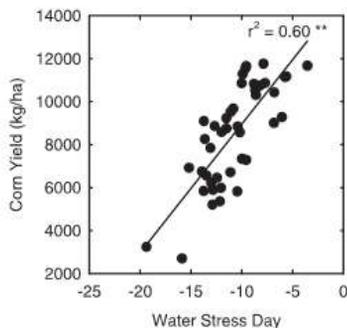


Fig. 6. Corn yield versus Water Stress Day. Compaction-tillage experiment, Weld loam, Akron, CO, 1998. (\*\*) indicates that the slope of the regression is significantly different from 0.0 at  $p=0.01$ .

$$WSD = \int (\theta_d - \theta_p) \times 100 \quad (7)$$

where  $\theta_d$  is the daily water content of the soil and  $\theta_p$  is the lower limit of the LLWR for any day that  $\theta_d < \theta_p$ . Otherwise WSD = 0.

## Efecto de la fertilidad física del suelo sobre absorción inicial de nutrientes en cebada (Arvidsson, *Plant and Soil* **208**: 9–19, 1999).

Tratamiento		A	B	C	D	E	MDS	Rango
Densidad aparente (Mg.m3)		1,14	1,22	1,24	1,32	1,34		
Grado de compactación		82	88	90	96	97		
Porosidd (%V/V)		56,5	53,4	52,7	49,6	48,9		
Capacidad aire (%V/V)		18,2	12,4	11	5,3	3,8		
Absorción de nutrientes 1)	N (g kg-	48,2	46,6	47,4	44,7	40,5	3,3	(49-59)
	P	2,9	3,3	3,5	3	2,1	0,3	(3,7-6,2)
	K	25,3	28,3	30	27,7	22,5	2,8	(42-52)

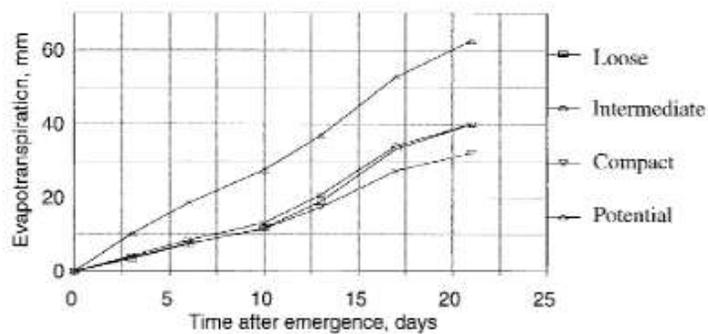


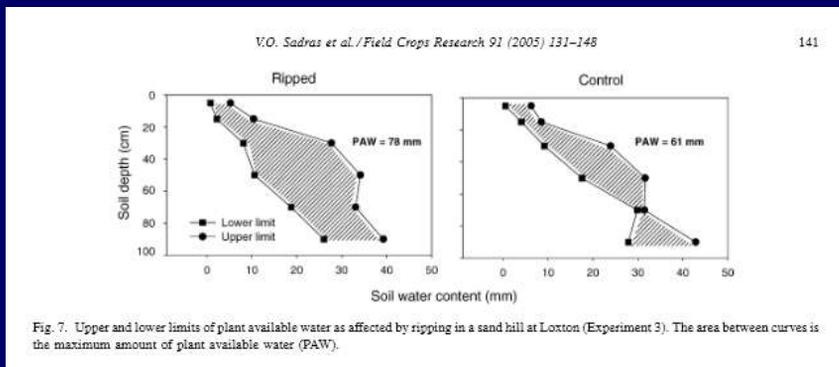
Figure 6. Evapotranspiration from cylinders with barley plants.

Arvidsson, *Plant and Soil* 208: 9–19, 1999

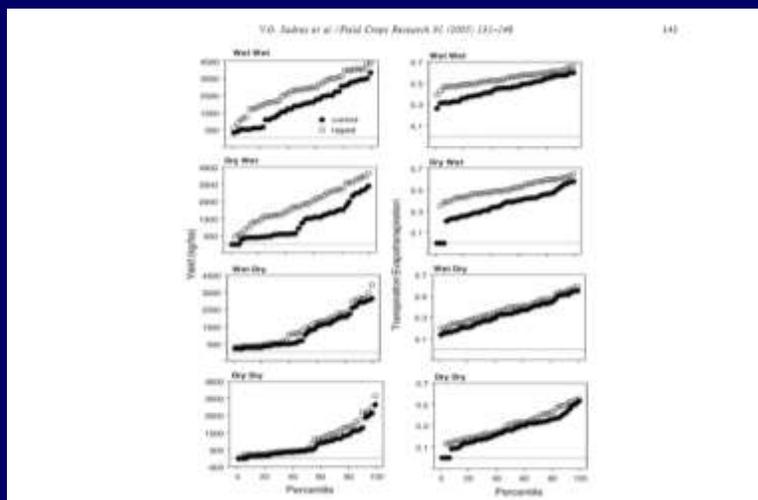
Table 5. Biomass yield and nutrient content of plants grown in cylinders

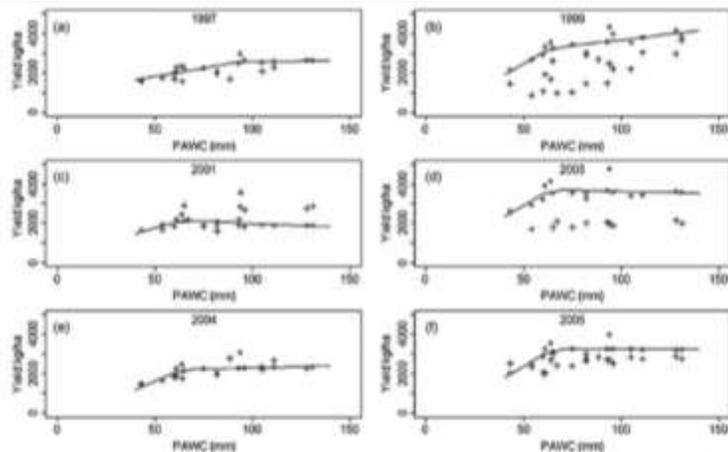
Treatment	Loose	Intern.	Compact	LSD ( $P < 0.05$ )
Biomass (g)	0.42	0.42	0.34	0.03
N ( $\text{g kg}^{-1}$ )	41	41	36	n.s.
P ( $\text{g kg}^{-1}$ )	2.3	2.1	1.7	0.3
K ( $\text{g kg}^{-1}$ )	60	58	41	3.0
Ca ( $\text{g kg}^{-1}$ )	11.0	10.0	8.4	1
Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ )	2.1	2.0	2.0	n.s.
S ( $\text{g kg}^{-1}$ )	3.4	3.2	3.0	0.2
Mn ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	28.0	34.0	23.0	3.0
Cu ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	11.0	10.0	10.0	n.s.
Fe ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	10.1	9.7	9.5	n.s.
B ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	9.6	8.2	7.9	n.s.
Zn ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	83	60	44	32.0

Arvidsson, *Plant and Soil* 208: 9–19, 1999



Simulated grain yield and T:ET ratio of wheat crops grown on compacted sandy soil (control) or soil where compaction was alleviated with deep tillage (ripped). Simulations used climatic data from 1957 to 2000. (Sadras et al., 2005)





3. The relationship between PAWC and crop yield from simulated data (□) and observed data (●) across 17 soils surveyed across two fields in 1997, 1999, 2001, 2003, 2004 and 2005.

(Sadras et al., 2005)

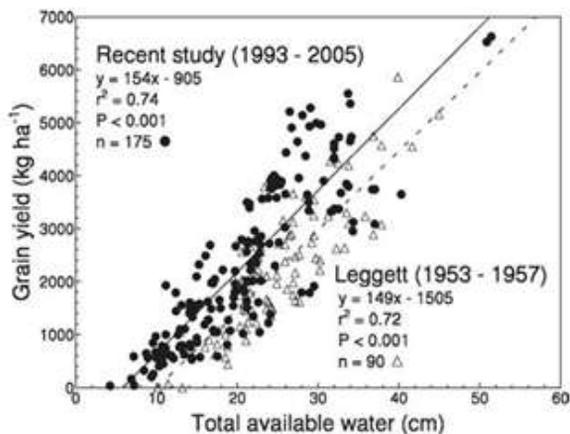
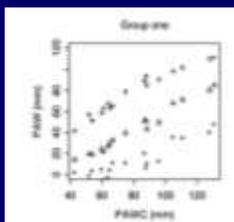
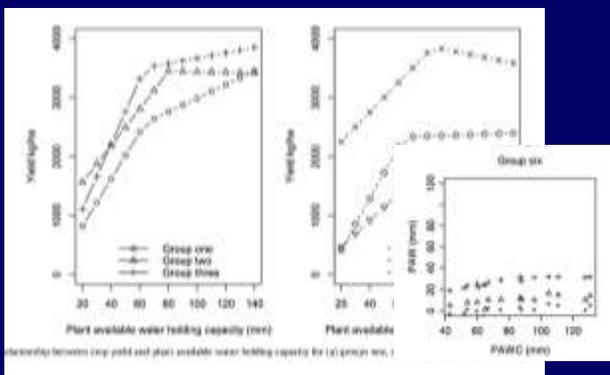


Fig. 1. The relationship between available water in the soil profile plus spring rainfall and grain yield of dryland wheat in eastern Washington. Data were collected from 1953 to 1957 (dotted line, open triangles) and from 1993 to 2005 (solid line, filled circles). Grain yield data are from a combination of winter wheat and spring wheat.

W.F. Schillinger et al. / Field Crops Research 109 (2008) 45–49



R.A. Lawes et al. / Field Crops Research 113 (2009) 297–305



Relationship between crop yield and plant available water holding capacity for (a) groups one, (b) groups two, and (c) groups three.

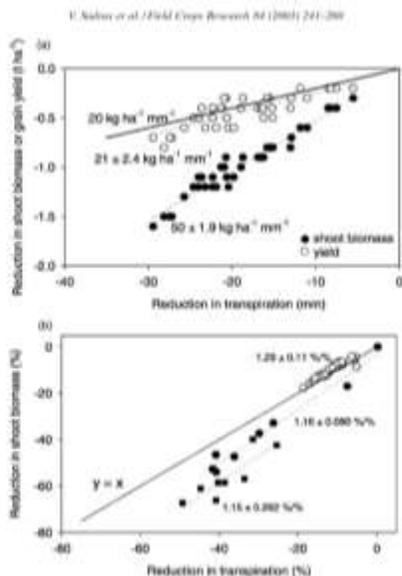


Fig. 5. (a) Association between correlated reduction in shoot biomass and yield due to reduced transpiration, and reduction in crop transpiration. All three variables (Y) are expressed as  $\Delta Y = Y_1 - Y_2$ , where subscripts indicate profiles with (C) or without constraints (NC). Points are 44 seasons average for each of 39 locations. The solid line represents French and Schultz's (1994) 20 kg grain ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>. (b) Comparison of the relationship between standard biomass and transpiration (open symbols), and the relationship derived from measurements in a glasshouse experiment by Hutton et al. and Jones (1992) for leaves concentration 2.50 mg kg<sup>-1</sup> (closed squares) or 3.79 mg kg<sup>-1</sup> (closed circles). In both (a) and (b), dotted lines are fitted regressions, and numbers indicate slopes and standard errors.

## Entonces:

¿El rendimiento del trigo se deprime con los años de agricultura continua sin laboreo?;

¿a partir de cuantos años se manifiesta?;

¿cuáles son los atributos del suelo que se modifican y, además, limitan el rendimiento?

55

## Tratamientos (Centurion y Chinazo, 2012)

### PARCELA FERTILIZADA = REND. ALCANZABLE

#### FERILIZACIONES

##### Siembra

36 UN, 92  $UP_2O_5$

78 UK

20 UCa, 16 US

##### Z 2.2

46 UN

##### Z 3.0

20 UN, 24 US

**MANEJO DE HERBICIDA**  
Realizada según encargados de chacra comercial.

**MANEJO DE FUNGICIDA**  
1L/ha de Opera en casos que fueron necesarios.



### PARCELA TESTIGO = REND. ACTUAL

Siembra, Z 2.2, y Z 3.0:

Fertilización, manejo de herbicida y fungicida realizadas como a cualquier chacra comercial.

## Propiedades del suelo:

1. Con los indicadores inherentes al suelo (HA, CAAD total, Prof total, INF 1, INF 2, MO, NO<sub>3</sub>, P Bray, PMN, Prof. 2 kg res., Prof total)

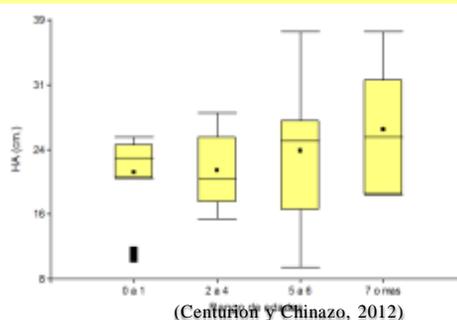
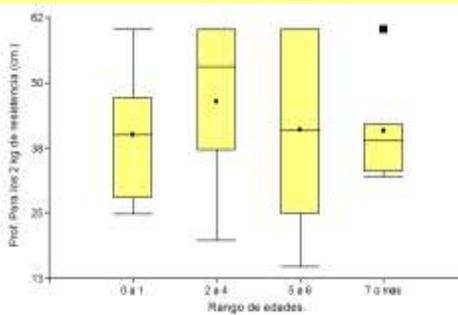
57

### ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS

#### Descripción de las propiedades físicas y químicas del suelo en función del Rango de edades

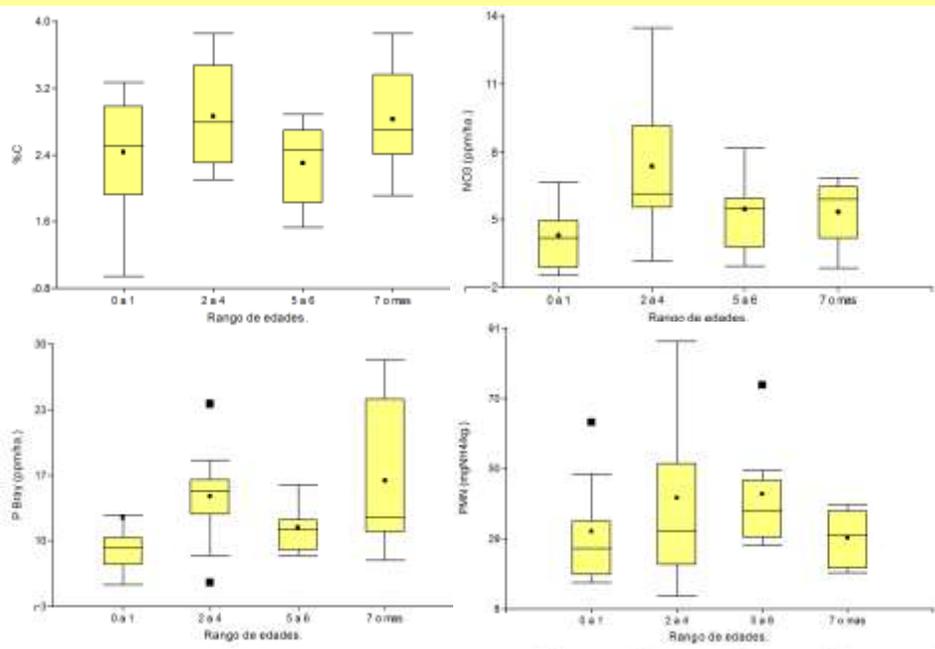
Profundidad en el perfil a la cual se alcanzó 2 kg cm<sup>-2</sup> de resistencia a la penetración del suelo en función del Rango de edades.

Espesor del horizonte A (HA) en función del Rango de edades.

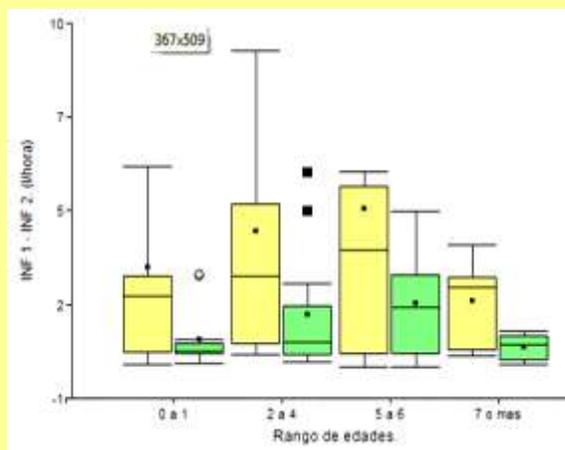


(Centurión y Chinazo, 2012)

%C, N-NO<sub>3</sub>, P Bray y PMN en función del rango de edad de chacra



Infiltración de agua en condiciones de humedad de campo (INF 1, amarillo) y sobre suelo saturado (INF 2, verde) según rango de edades.



60

(Centurion y Chinazo, 2012)

## **Las propiedades del suelo cuantificadas**

- Las variables estudiadas no tienen una tendencia definida respecto a la edad de la chacra, pero tienen variabilidad.
- Los rangos de valores de las cajas se superponen por lo que no hay asociación entre las variables y los “Rangos de edades” -> la selección de chacras no condicionó los resultados .

61

## **Análisis estadístico: construcción del ICS**

¿Para qué?

- Con el fin de cuantificar la calidad de los suelos, teniendo en cuenta las propiedades químicas, físicas y biológicas de los mismos, de forma conjunta.

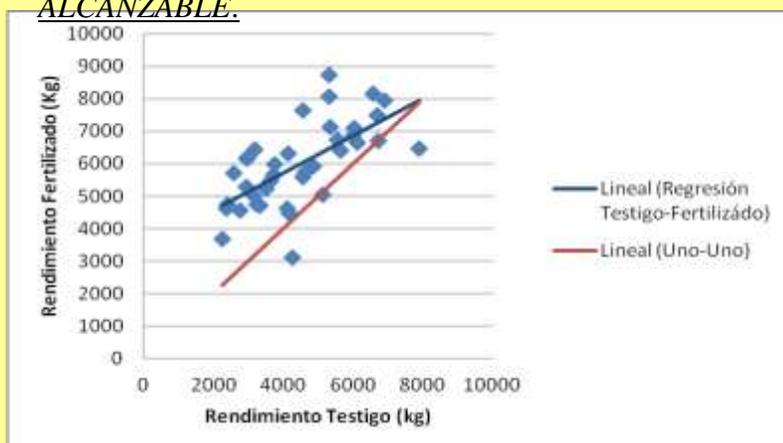
62

Resumen del *REND de trigo (kg ha<sup>-1</sup>)*, según tratamiento (FERTILIZADO y TESTIGO) y Rango de edades.

Tratamiento	Rango de edades	n	Media	Mín	Máx
FERTILIZADO	0 a 1	12	6055	3103	8172
TESTIGO	0 a 1	12	4941	2261	7896
FERTILIZADO	2 a 4	12	6024	4616	7634
TESTIGO	2 a 4	13	4788	2598	6722
FERTILIZADO	5 a 6	8	5592	4631	7087
TESTIGO	5 a 6	8	3509	2386	6043
FERTILIZADO	7 o mas	6	6228	4456	8741
TESTIGO	7 o mas	6	4167	2962	6014

(Centurion y Chinazo, 2012) 63

Regresión lineal de *REND ACTUAL* vs. *REND ALCANZABLE*.



Fertilizado = ALCANZABLE

Testigo = ACTUAL

(Centurion y Chinazo, 2012)

- MANOVA 3CP. El análisis de varianza multivariado, de los 3 CP juntos vs. *Rango de edades* fue significativo, por lo que los CP variaron con la edad de la chacra.
- ANAVA cp's 1 Y 2 significativo. CP3 no varía con edad de chacra.

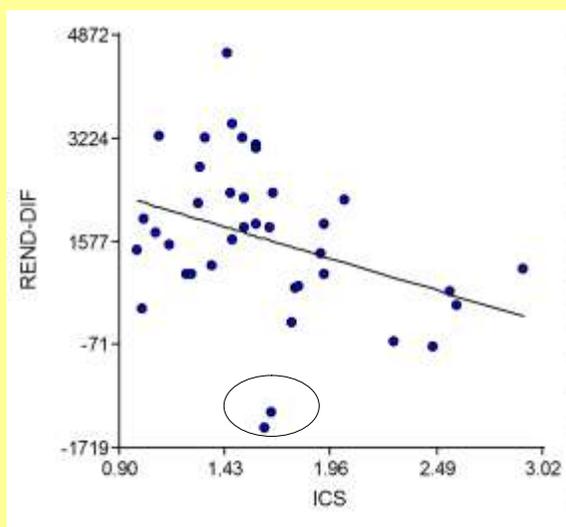
ANAVA ICS vs. Rango de edades de chacra.

Rango de edades	Medias	N	E.E.	
2 a 4	1,2	26	0,05	a
5 a 6	1,0	16	0,07	ab
7 o mas	1,0	12	0,08	ab
0 a 1	0,9	24	0,06	b

65

(Centurion y Chinazo, 2012)

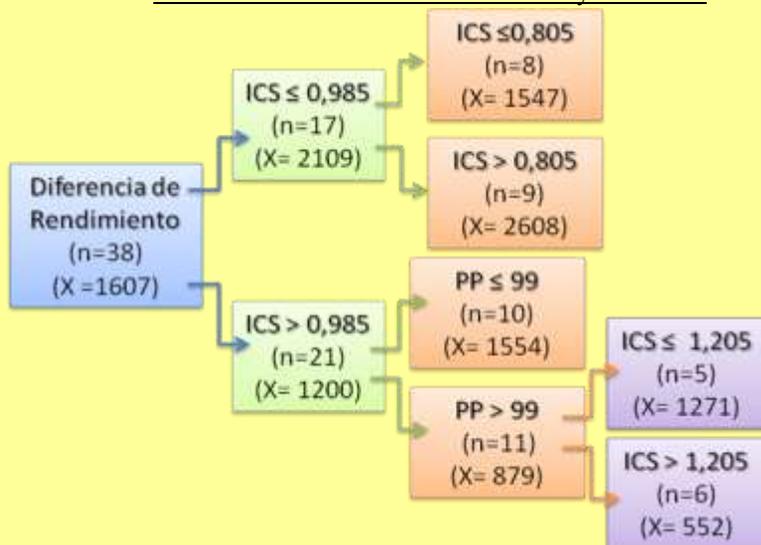
Relación entre ICS vs. REND-DIF.



66

(Centurion y Chinazo, 2012)

Árbol de clasificación y regresión para la diferencia de rendimientos entre *ALCANZABLE* y *ACTUAL*



67

## CONCLUSIONES

- Las **propiedades físicas, químicas y biológicas** determinadas, analizadas individualmente, **no tuvieron un patrón de variación relacionado con la historia agrícola reciente**.
- El REND no se relacionó con los años de agricultura continua en SD.
- La calidad del suelo pudo ser estimada a través de un *ICS* que combina indicadores físicos (Prof. Total e INF 2), químicos (COS) y biológicos (PMN).  
**ICS**, si bien fue sensible a los años con agricultura sin laboreo, no lo hizo de manera lineal, mostrando un óptimo en los años de 2 a 4.

68

## ...CONCLUSIONES

- El *ICS* se asoció positiva y significativamente con el REND ACTUAL pero no con el ALCANZABLE para “agua limitante”.

Por tanto, la brecha entre el rendimiento actual y el rendimiento limitado por agua aumentó al reducirse el *ICS*.

69

- En suelos con 100 a 140 mm de capacidad de almacenar agua disponible, la facilidad de recarga y los límites de disponibilidad serían variables determinantes de la calidad del suelo para reducir la brecha de rendimiento para condiciones “nutriente no limitante”