

Desafíos del manejo
sustentable de suelos
semiáridos bajo la
influencia creciente
del cambio climático

- R. César Izaurralde
- Dept. Geographical Sciences, University of Maryland
- Texas AgriLife Research and Extension, Texas A&M University
- IV Jornadas Nacionales de Suelos de Ambientes Semáridos
- Córdoba, Argentina
- 25-26 Septiembre, 2019

Temario

Ilustrar la distribución de la región semiárida y sus suelos

Detallar características de suelos de ambientes semiáridos

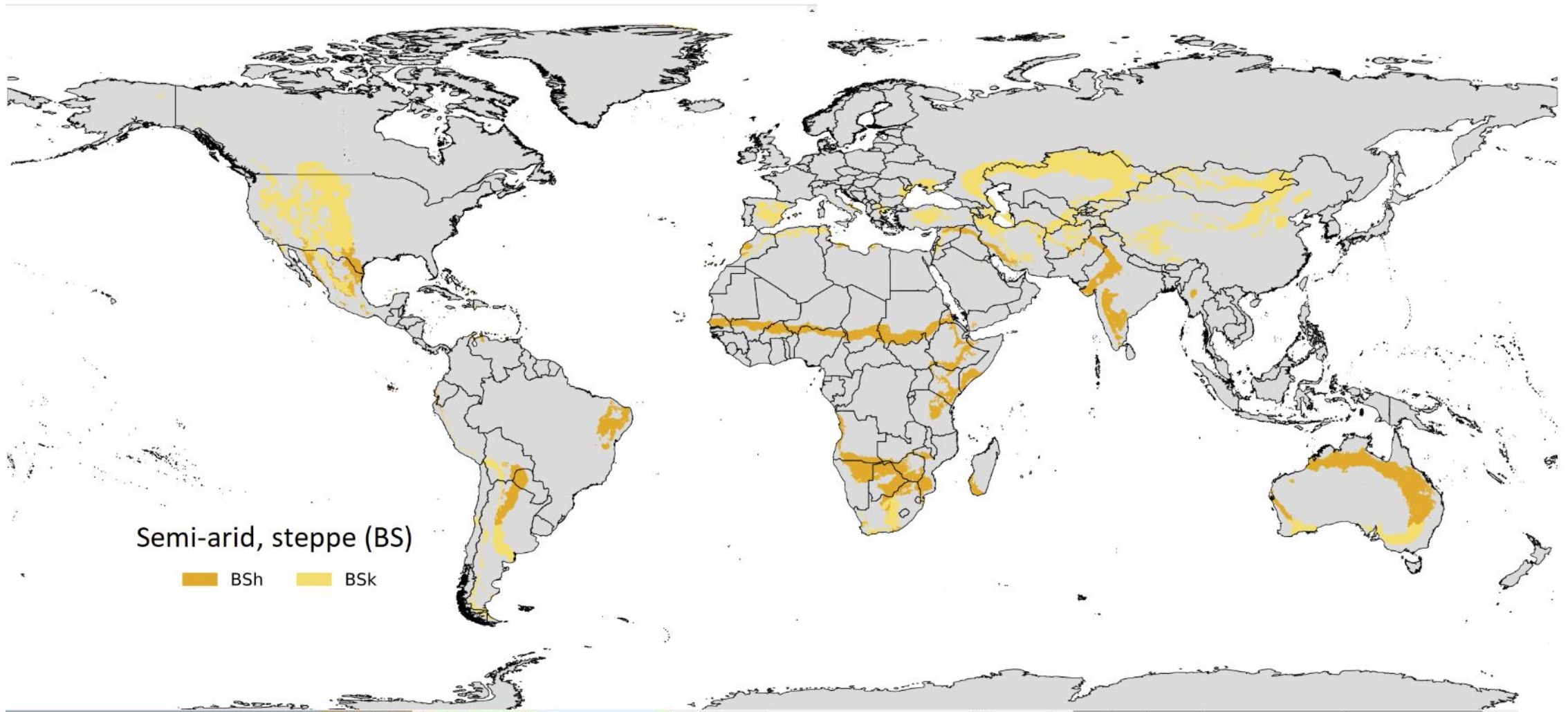
Discutir uso actual de suelos de ambientes semiáridos

Enumerar cambios climáticos esperados e impactos

Formular bases para el manejo sustentable de suelos en un mundo con cambio climático emergente

Ilustrar la distribución de la región semiárida y sus suelos

Mapa global de zonas semiáridas



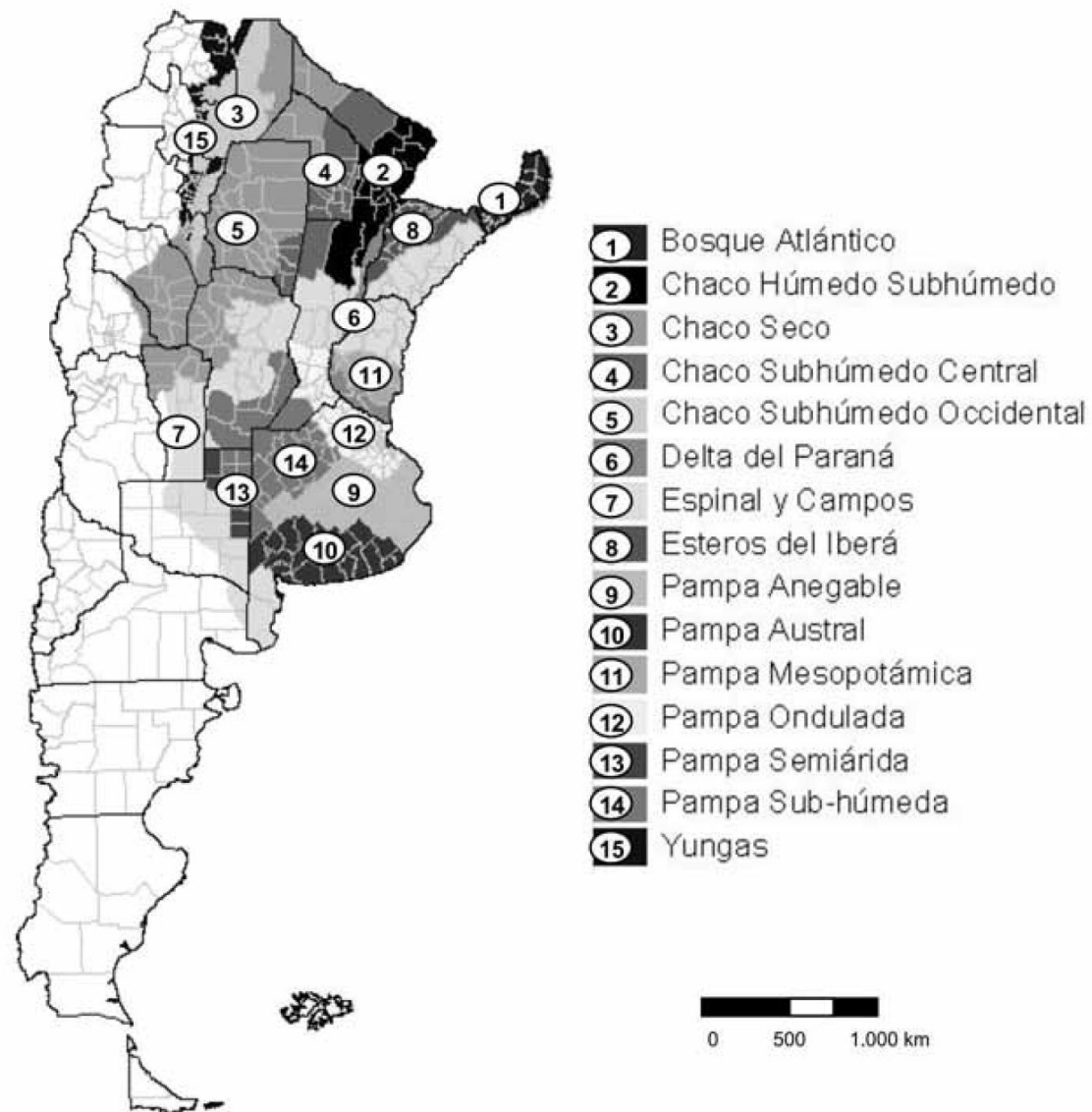
Beck et al. 2018. Scientific Data 5:180214. doi:
10.1038/sdata.2018.214

<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/present.htm>

Los ambientes semiáridos y subhúmedos que nos conciernen hoy ocupan partes de las ecoregions del Chaco Subhúmedo Occidental, Espinal y Campos, y Pampa Semiárida

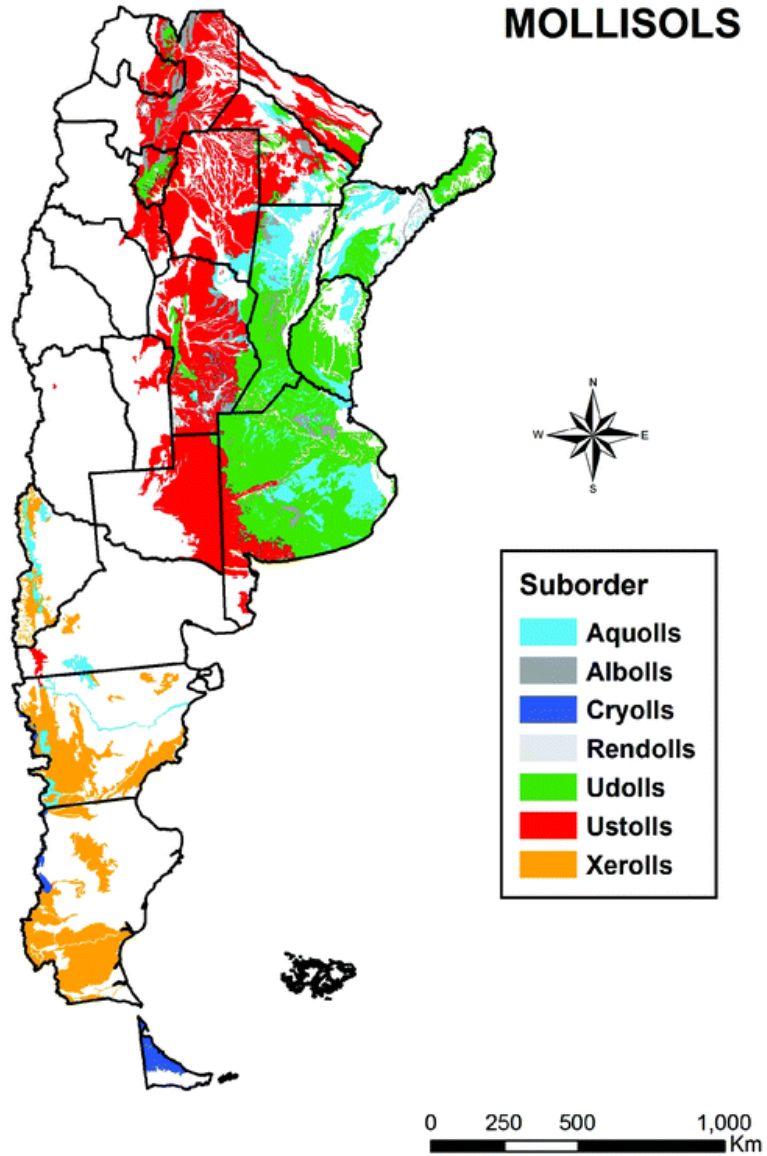
Cuadro 1.1. Superficie, distribución relativa y número de distritos de las eco-regiones y sub-regiones analizadas

Eco-región	Sub-región	Área (km ²)	% del área total	Número de distritos
Pampas		426.160	28,92	135
	Ondulada	74.399	5,05	41
	Subhúmeda	129.350	8,78	32
	Austral	82.530	5,60	21
	Semiárida	14.682	1,00	4
	Anegable	93.161	6,32	31
	Mesopotámica	32.038	2,17	6
Espinal y Campos		246.981	16,76	37
Chaco		638.187	43,32	143
	Húmedo Sub-húmedo	111.180	7,55	21
	Sub-húmedo Central	97.063	6,59	21
	Seco	360.131	24,44	80
	Sub-húmedo Occidental	69.813	4,74	21
Bosque Atlántico		29.801	2,02	17
Esteros del Iberá		40.441	2,74	14
Delta del Paraná		45.387	3,08	9
Región de Yungas		46.468	3,15	44
Total		1.473.425	100,00	399

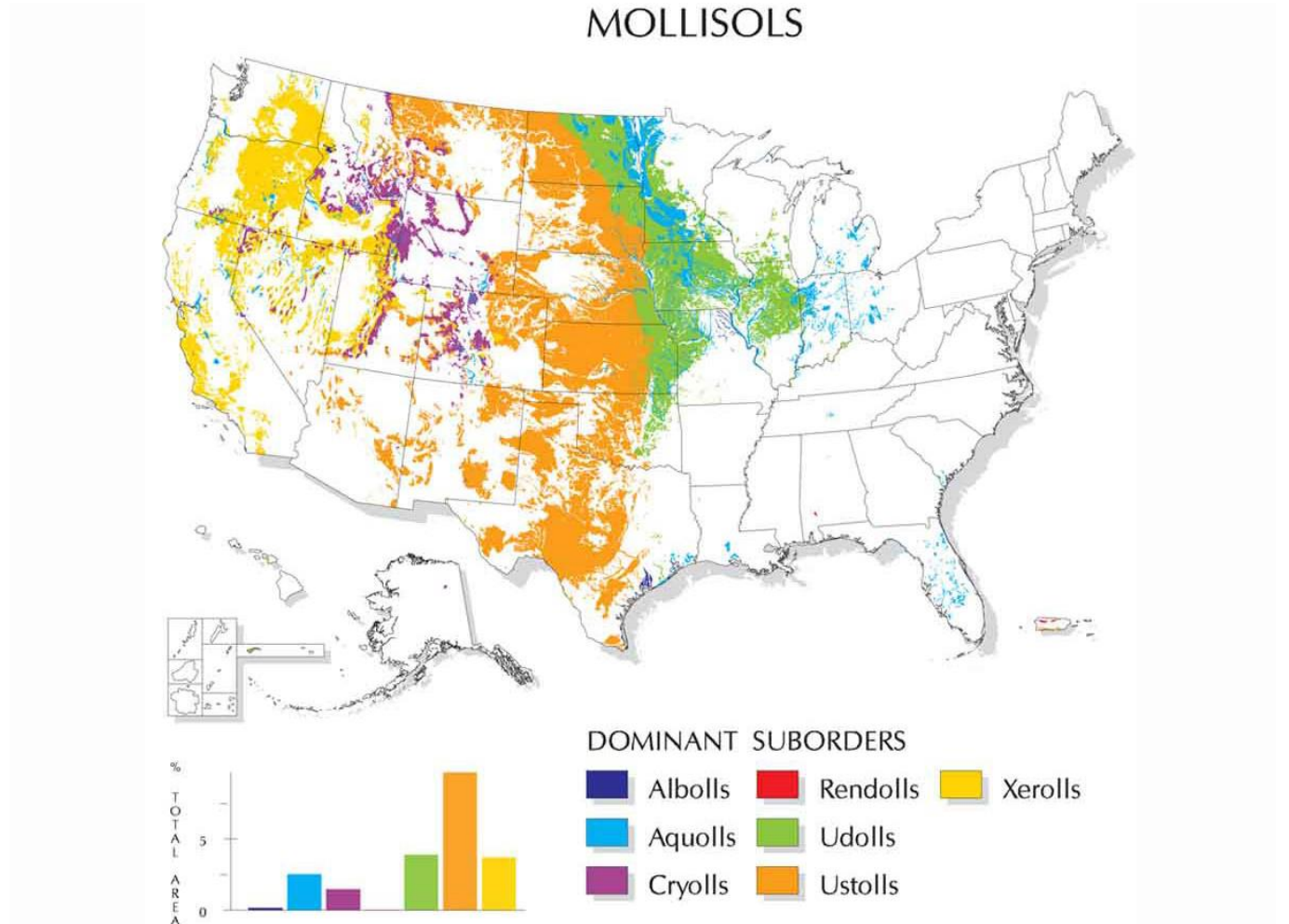


Detallar características de suelos de ambientes semiáridos

MOLLISOLS

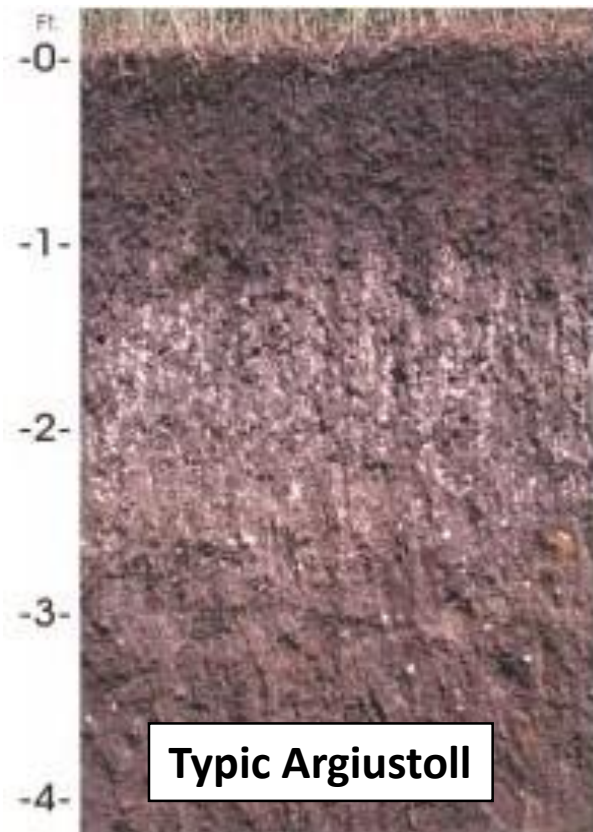


MOLLISOLS



Rodríguez et al. 2019. The Soils of Argentina. World Soils Book Series. Springer, Cham

<https://www.uidaho.edu/cals/soil-orders/mollisols>



[https://en.wikipedia.org/wiki/Houdek_\(soil\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Houdek_(soil))



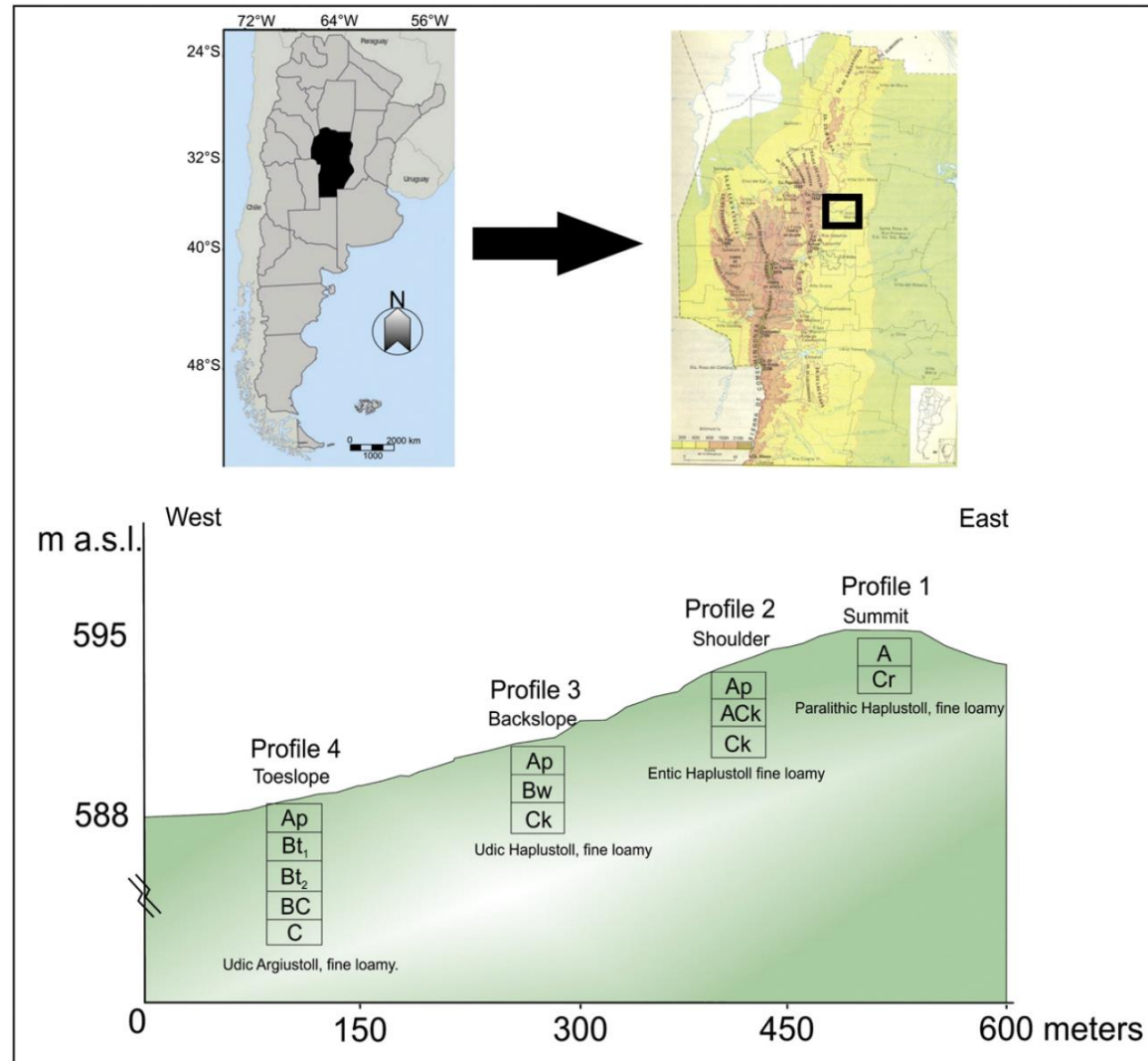
<http://www.soils.org>



<http://www.soils.org>

Perfiles típicos de tres Molisoles

Catena formada sobre depósitos de *loess* en un ambiente semiárido de Sierra Chica, Córdoba, Argentina

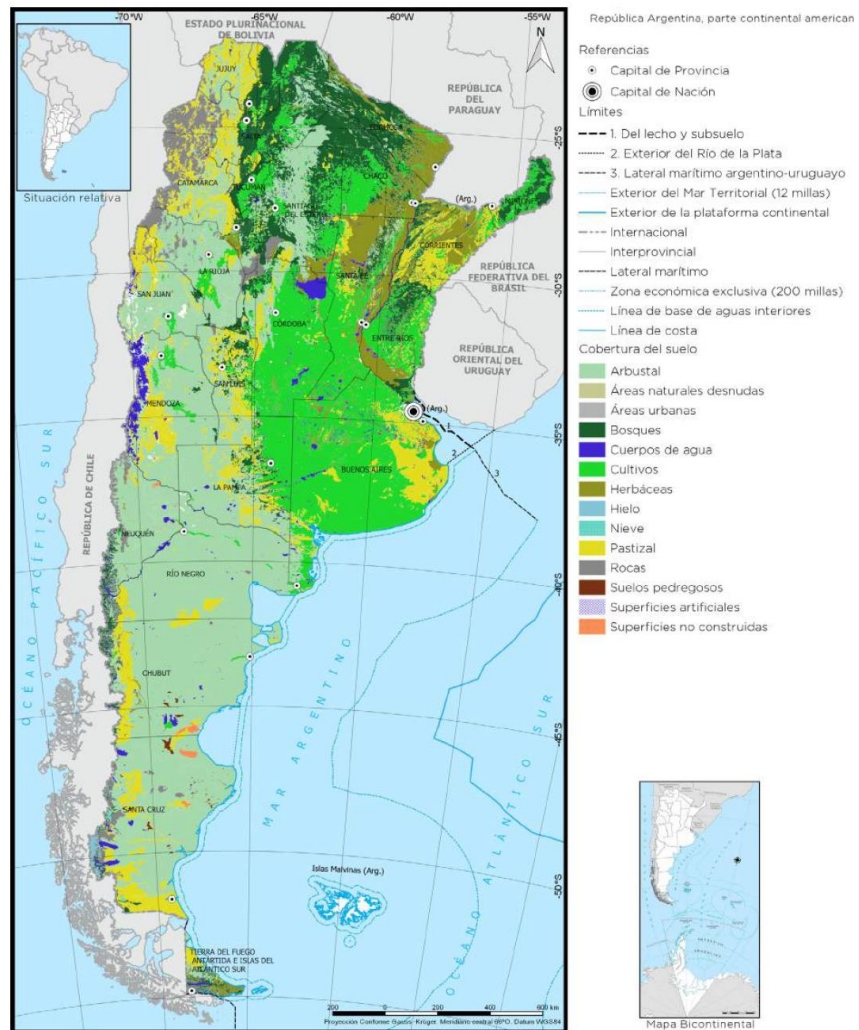


Pasquini et al. 2017.
Geoderma 295:53-68.

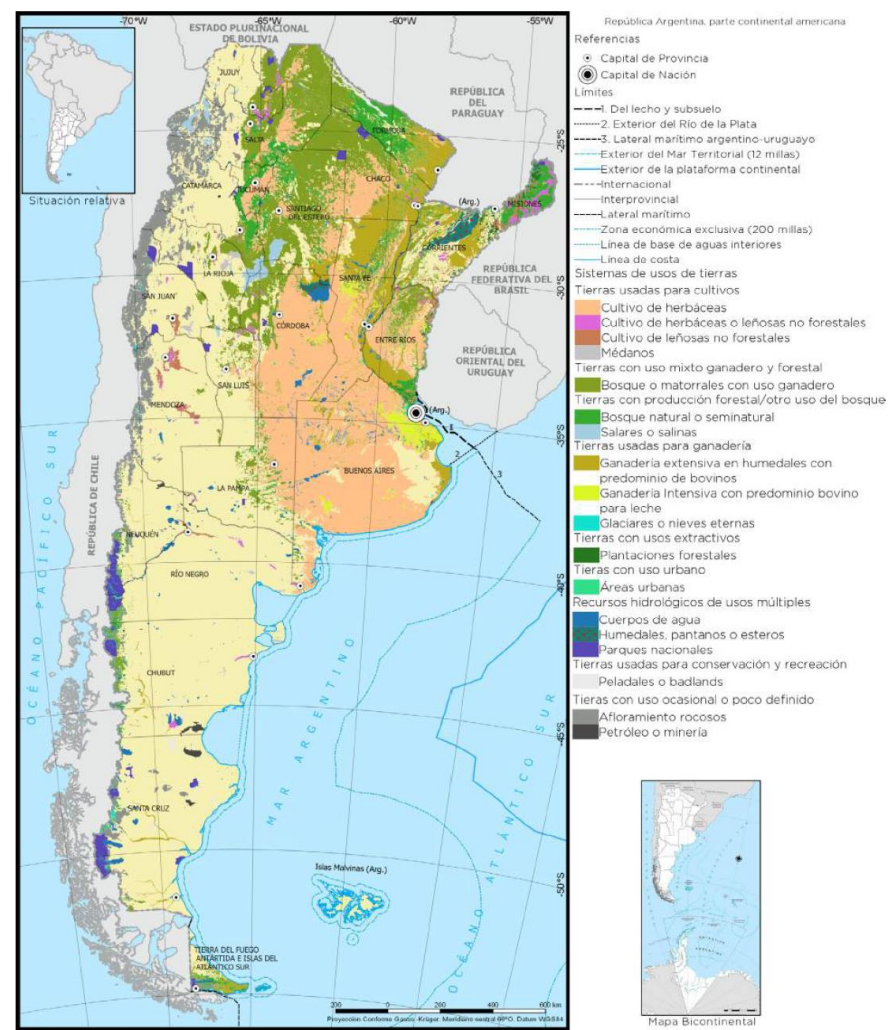
Discutir uso actual de suelos de ambientes semiáridos

Cobertura y uso del suelo

Cobertura del suelo

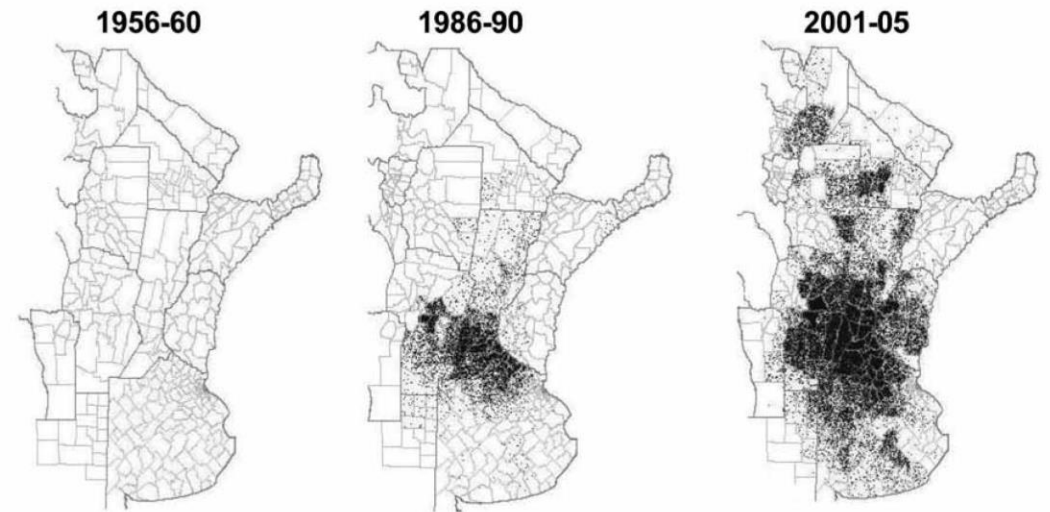


Uso del suelo



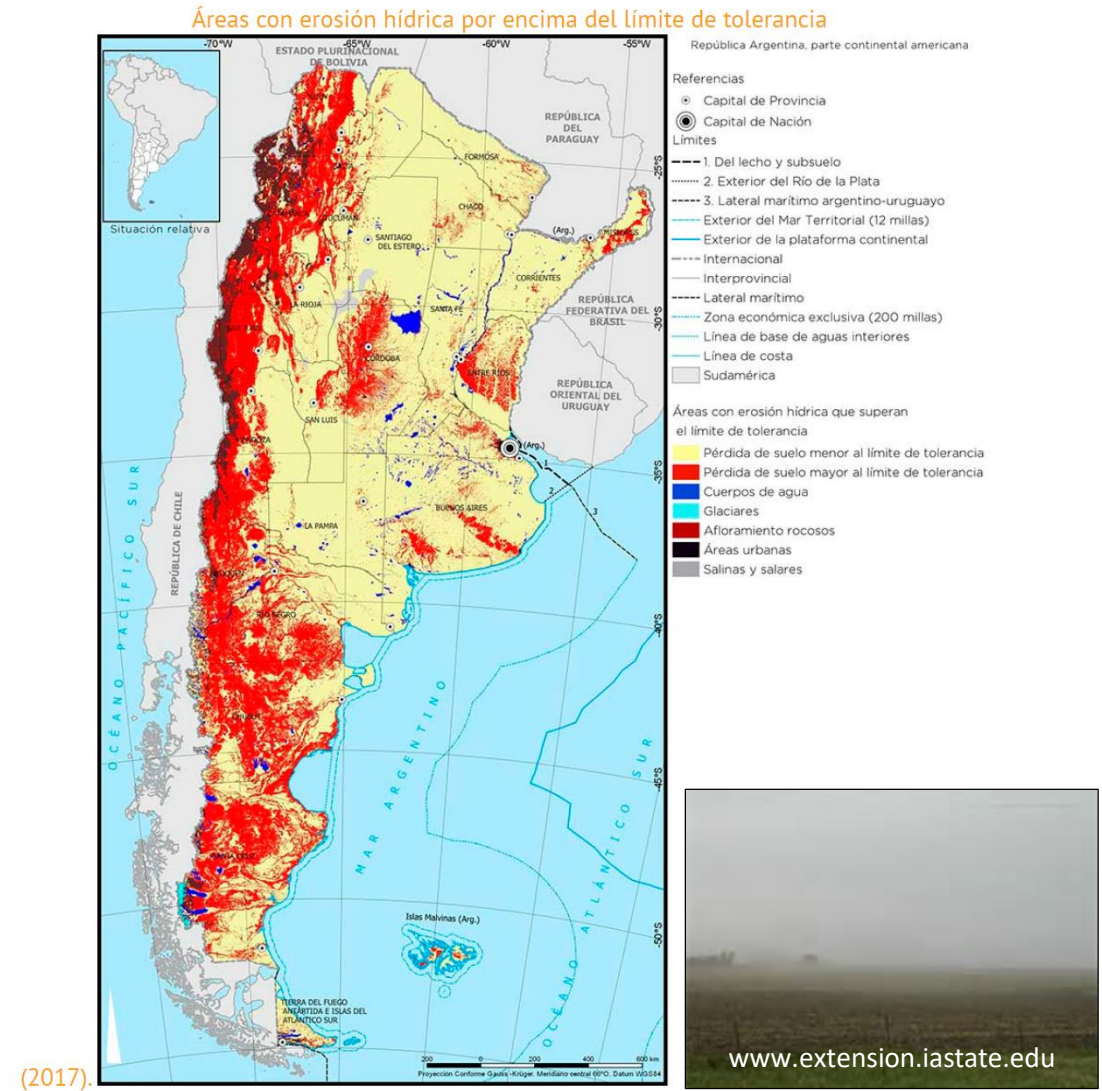
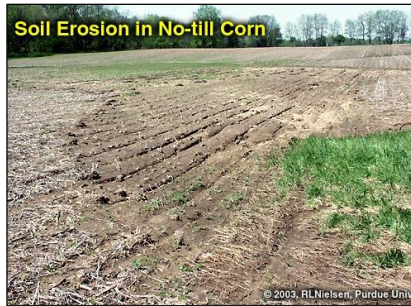
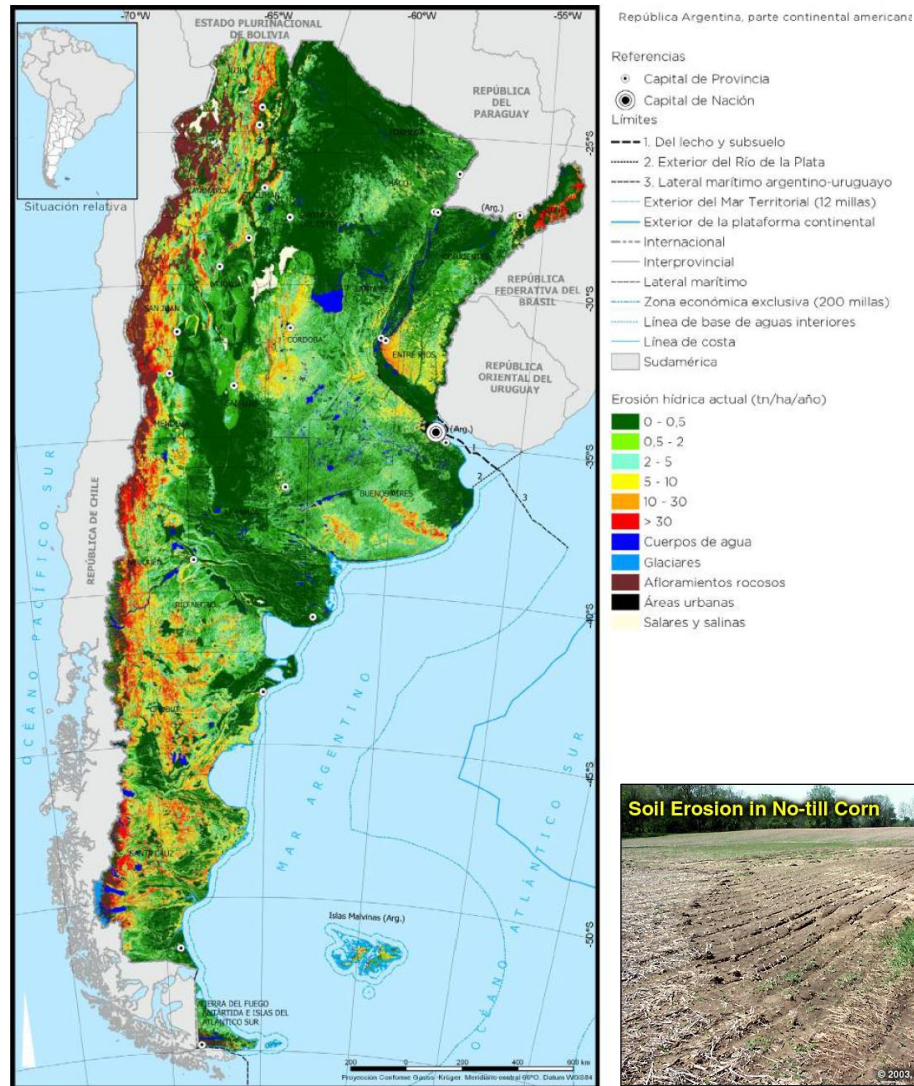
Uso y manejo de la tierra y consecuencias, con énfasis en la región semiárida

- El uso y manejo de la tierra ha cambiado significativamente durante los últimos 40 años
- Causas principales
 - Demanda internacional, principalmente soja
 - Adopción de siembra directa y paquete tecnológico
- Consecuencias ambientales
 - Simplificación de sistemas de producción
 - Deforestación
 - Alteración del ciclo hidrológico
 - Calidad de suelos
 - Mejoramiento
 - Deterioro
- Consecuencias productivas
 - Aumento considerable de producción y exportación de granos y derivados



**Expansión histórica de la soja en Argentina
(Carreño y Viglizzo, 2007)**

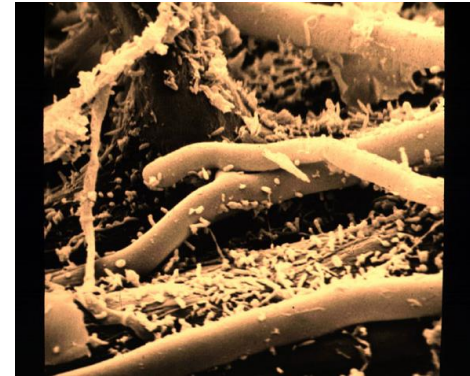
Áreas y grado de erosión hídrica y eólica



(2017).

Materia orgánica del suelo (MOS – SOM)

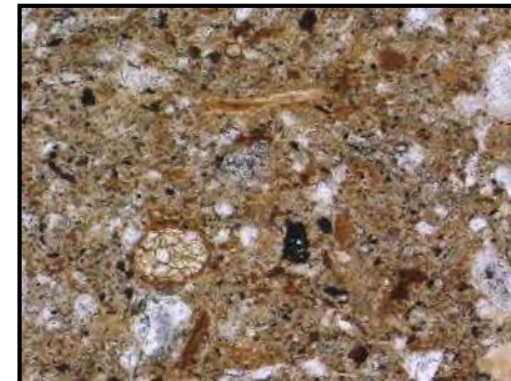
- Tres fracciones
 - Organisms vivientes (e.g. bacteria, hongos, fauna)
 - Residuos de plantas y animales en diferente estadios de descomposición
 - Humus –material de color marrón a negro, más bien estable que no se asemeja en nada a los organismos de los que se originó



Microbial
biomass
(1-4%)



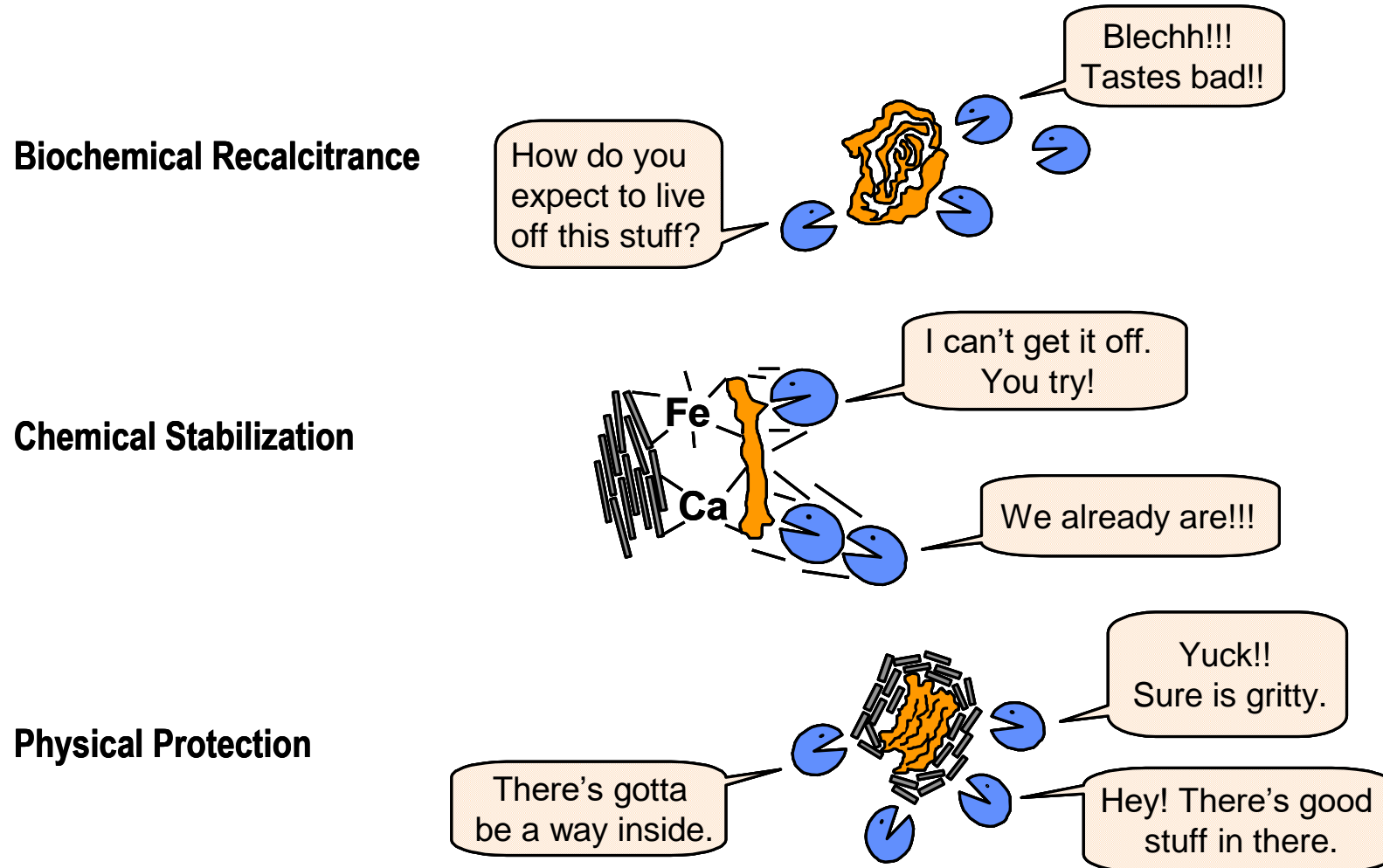
Fresh OM
(30-40%)



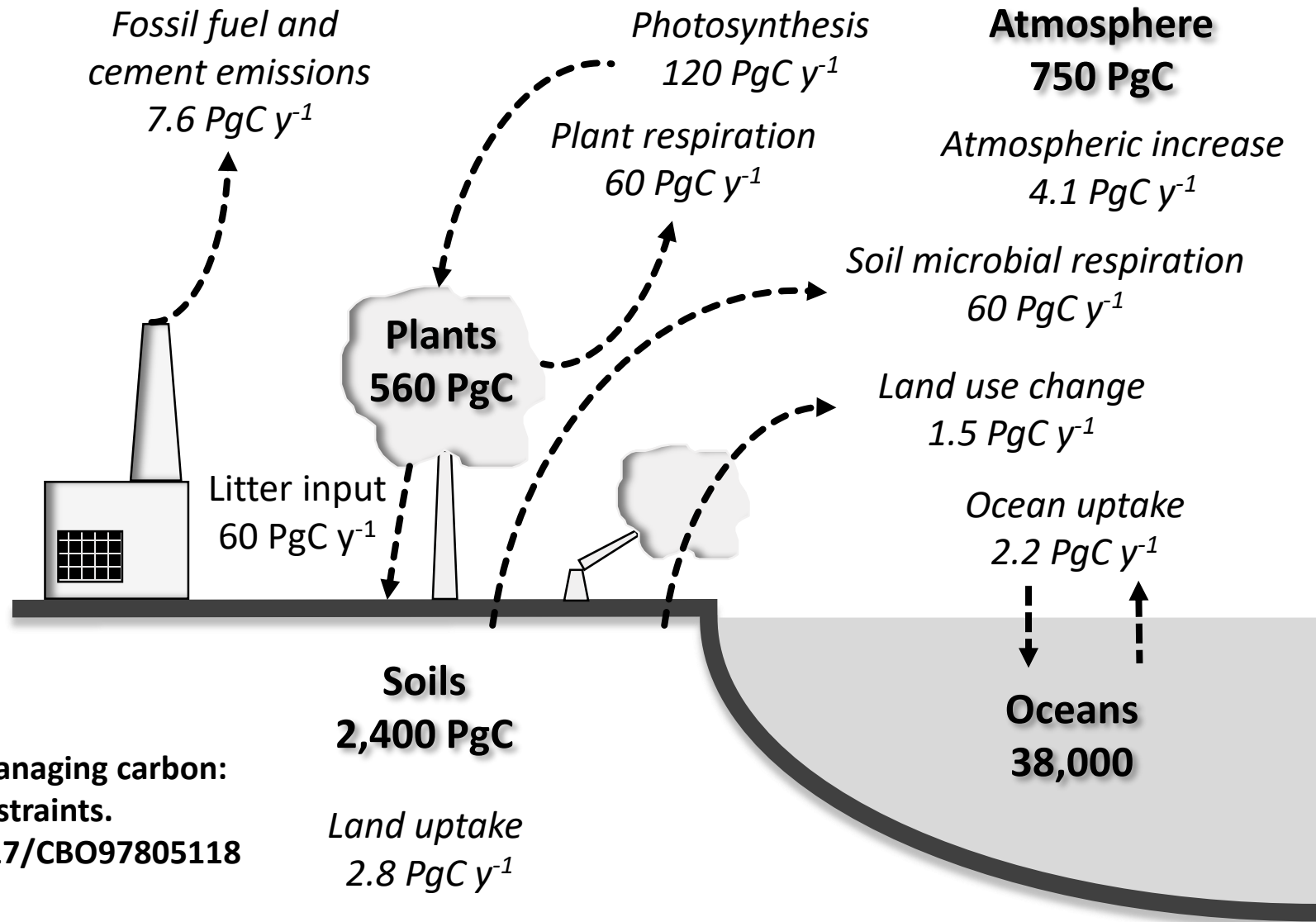
Humus
(50-70%)

MECHANISMS OF SOIL ORGANIC MATTER STABILIZATION

From Jastrow and Miller, 1998, *In Soil Processes and the Carbon Cycle*, CRC Press.

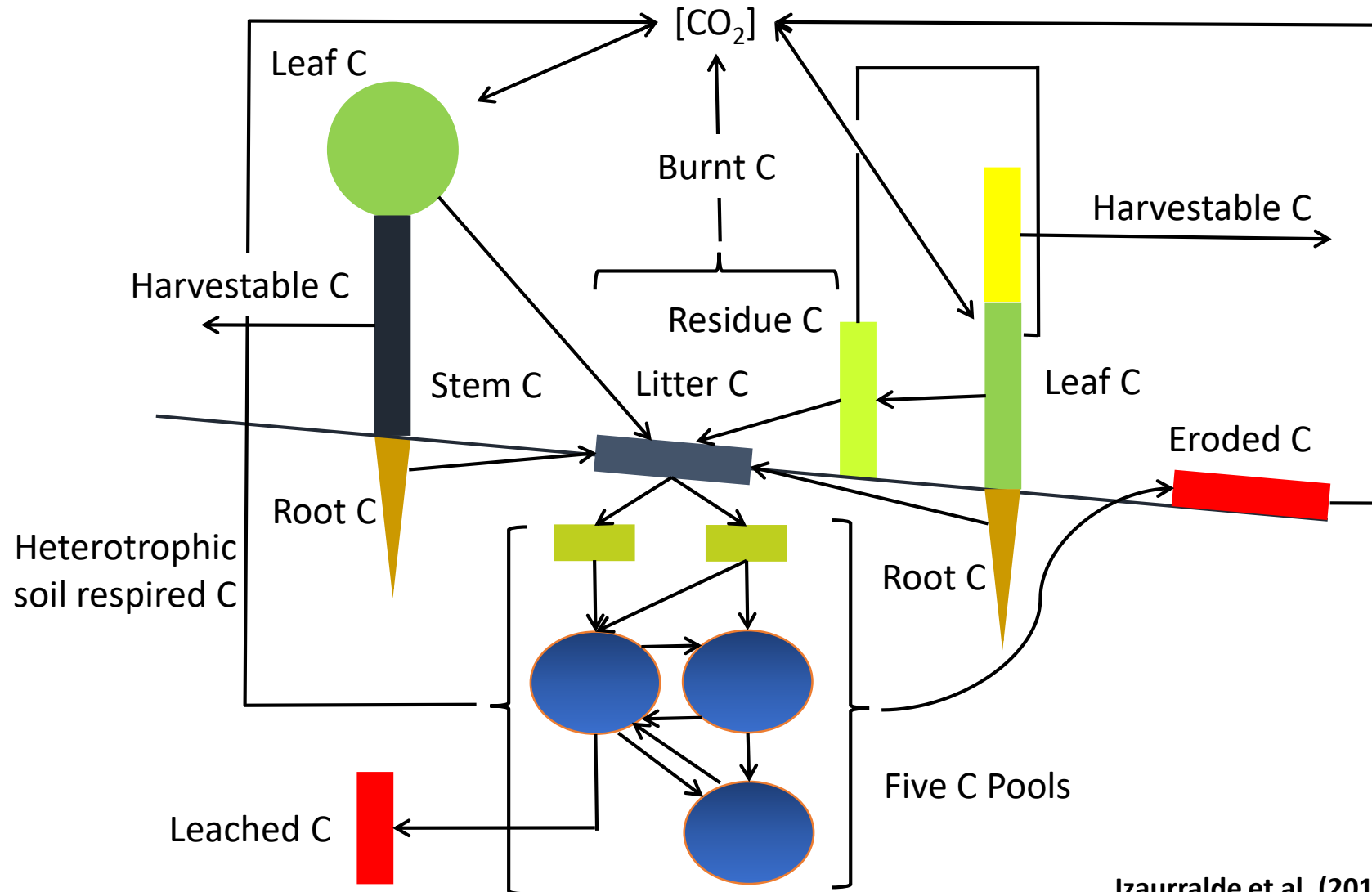


Carbono del Suelo, Ciclo Global del Carbono, y Combustibles Fósiles



Izaurre et al. 2013. Managing carbon: ecological limits and constraints.
<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511894824.018>.

Compartimentos y flujos del C en ecosistemas terrestres



La materia orgánica del suelo (MOS) y su influencia sobre las propiedades físicas del suelo y procesos biogeoquímicos

Physical properties

Soil temperature

Soil erodibility

Soil bulk density

Soil layer depth

Porosity

Water holding capacity

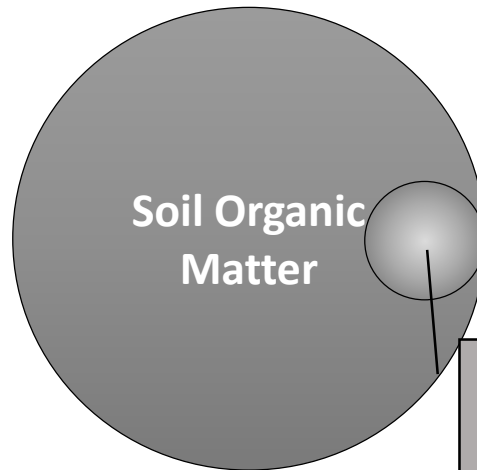
Biogeochemical processes

pH buffering

Carbon, N, and P cycling

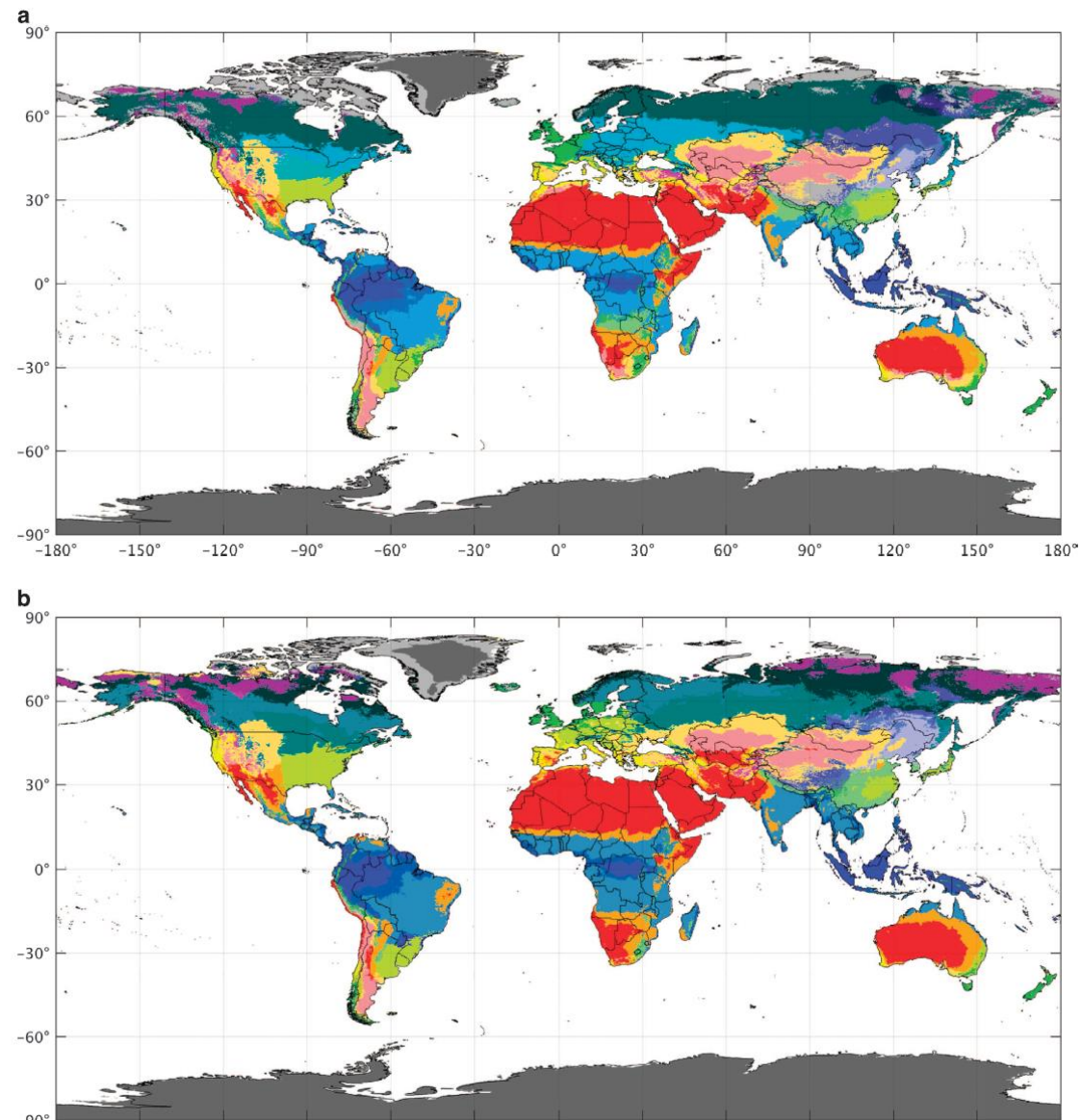
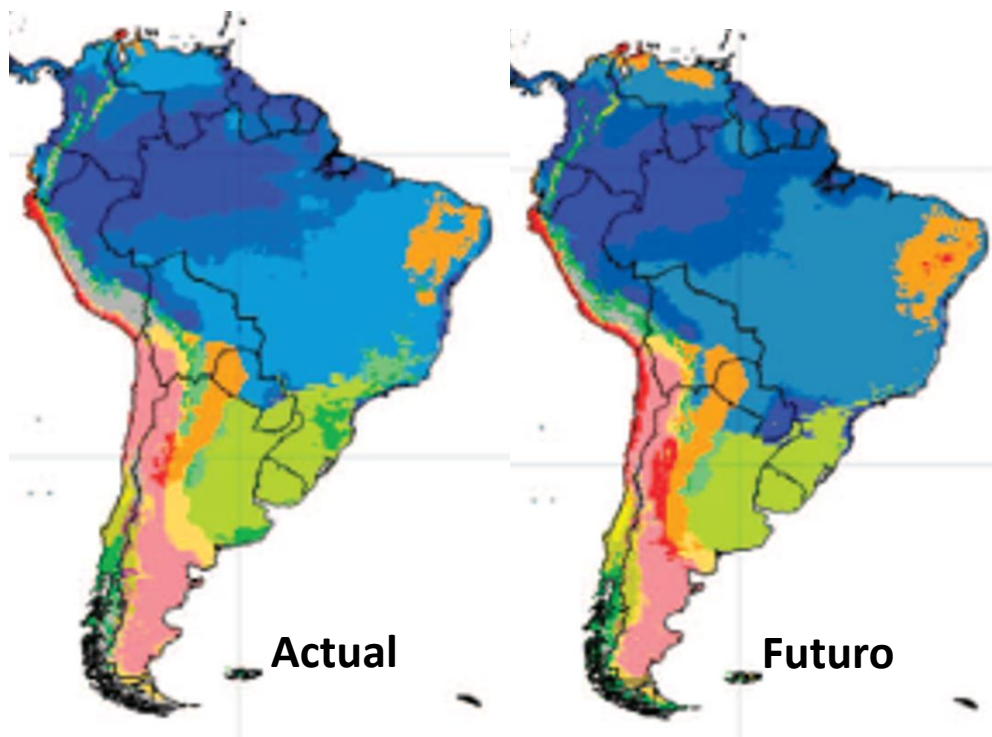
Microbial biomass

Soil water dynamics



Enumerar cambios climáticos esperados e impactos

Nueva y mejorada clasificación de Köppen-Geiger
Panel (a) mapa actual (1980–2016)
Panel (b) mapa futuro (2071–2100)



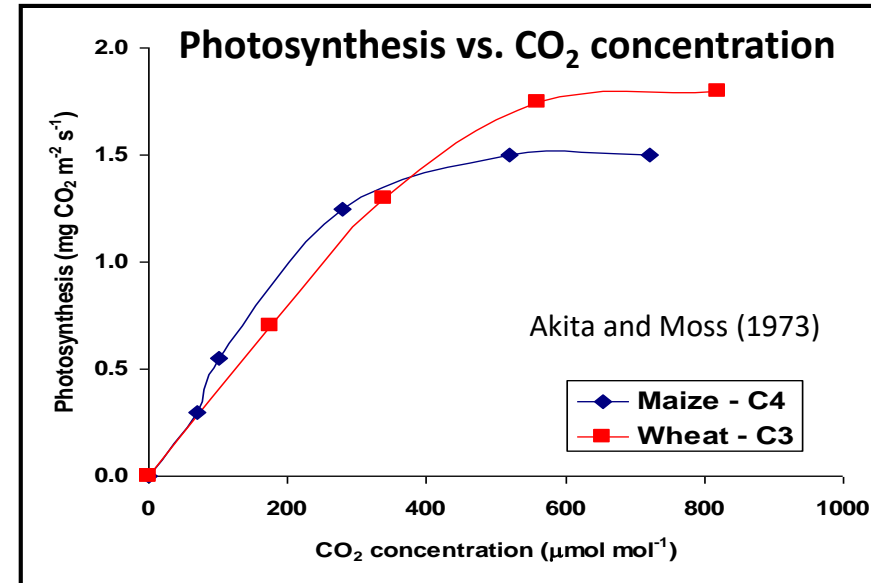
Impactos del cambio climático en cultivos

- Direct

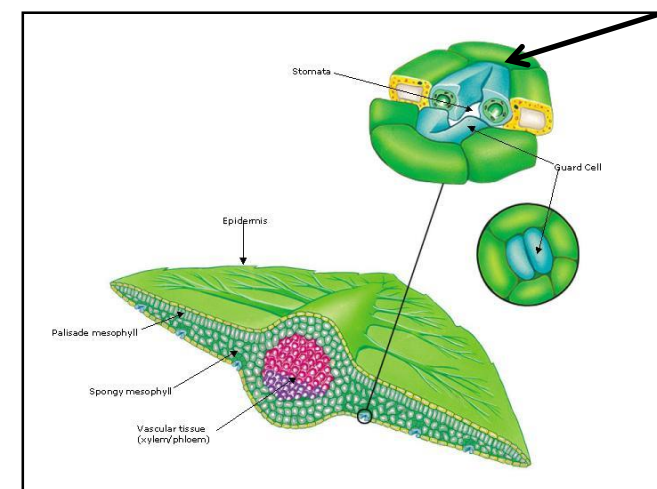
- Elevated CO₂ → “CO₂ fertilization effect”
 - C4 (e.g. maize) vs. C3 crops (e.g. wheat)
- Water
 - Water Use Efficiency
 - Lack, excess
- Temperature
 - Accelerated phenology
 - Critical temperatures
- Tropospheric ozone
 - Effects on photosynthesis

- Indirect

- Weeds and invasive species
- Pests and diseases



Stomata



Methods to study CO₂ fertilization effects on plants

- Growth chambers
- Greenhouses
- Closed chambers
- Open chambers
- Free-Air Carbon Dioxide Enrichment (FACE)



<http://www.uswcl.ars.ag.gov/epd/co2/co2face.htm>

Crop responses (% change) to doubling CO₂ concentrations
(summarized by Hatfield et al. 2011)

Crop	Photosynthesis	Biomass	Grain yield
Maize – C4	3	4	4
Sorghum – C4	9	3	0 – 8
Cotton – C3	33	36	44
Peanut – C3	27	36	30
Rice – C3	36	30	30
Soybean – C3	35	37	34 – 38
Wheat – C3	35	15 – 27	31

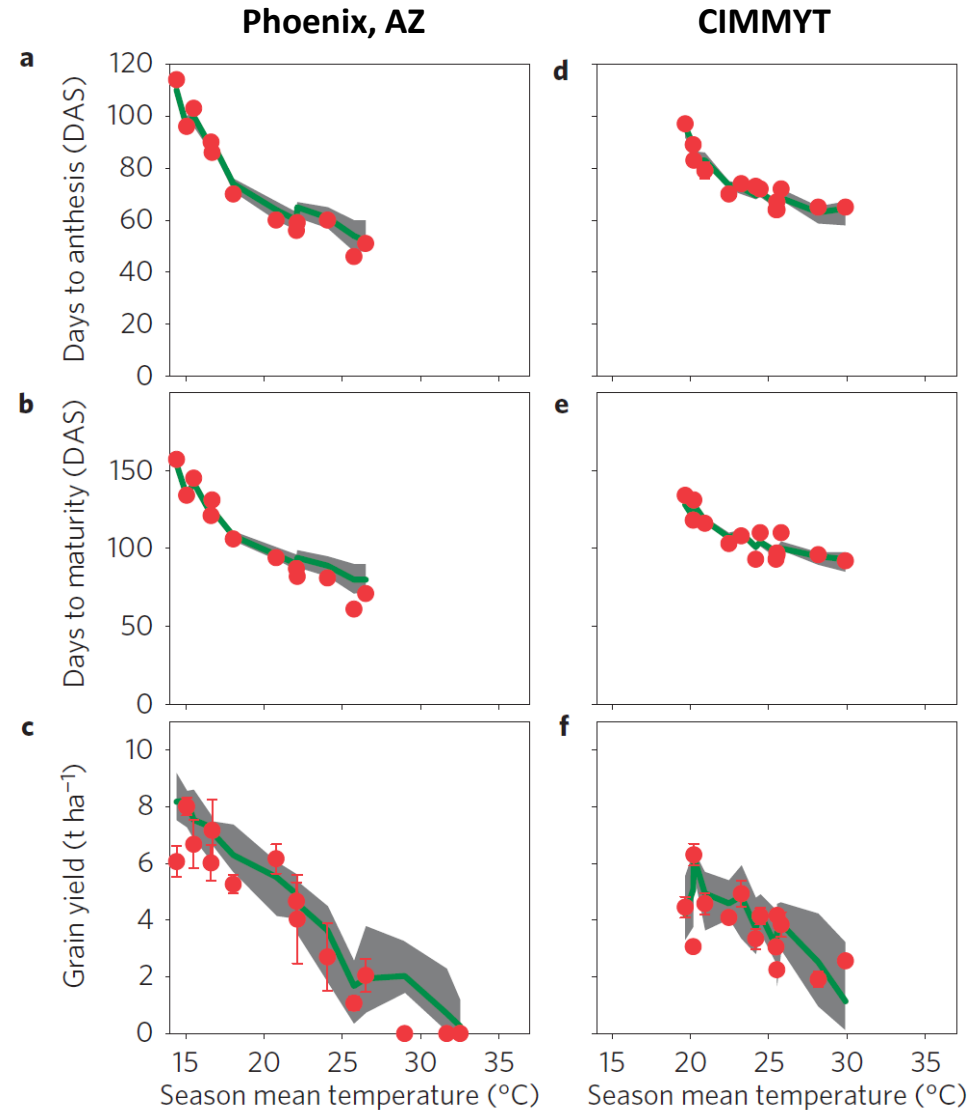
Temperaturas (°C) basales, óptimas, y críticas para cultivos principales en USA

Crop	Bas Temp veget	Opt Temp veget	Bas Temp reprod	Opt Temp reprod	Opt Rge veget	Opt Rge reprod	Fail Temp reprod
Maize	8	34	8	34		18 – 25	35
Sorghum	8	34	8	31	26 – 34	25	35
Cotton	14	37	14	30	34	26	35
Peanut	10						
Rice	8	36	8	33	33	23 – 26	35 – 36
Soybean	7	30	6	26	25 – 37	22 – 24	39
Wheat	0	26	1	26	20 - 30	15	34

La producción global de trigo podría caer un 6% por cada °C de incremento de temperatura



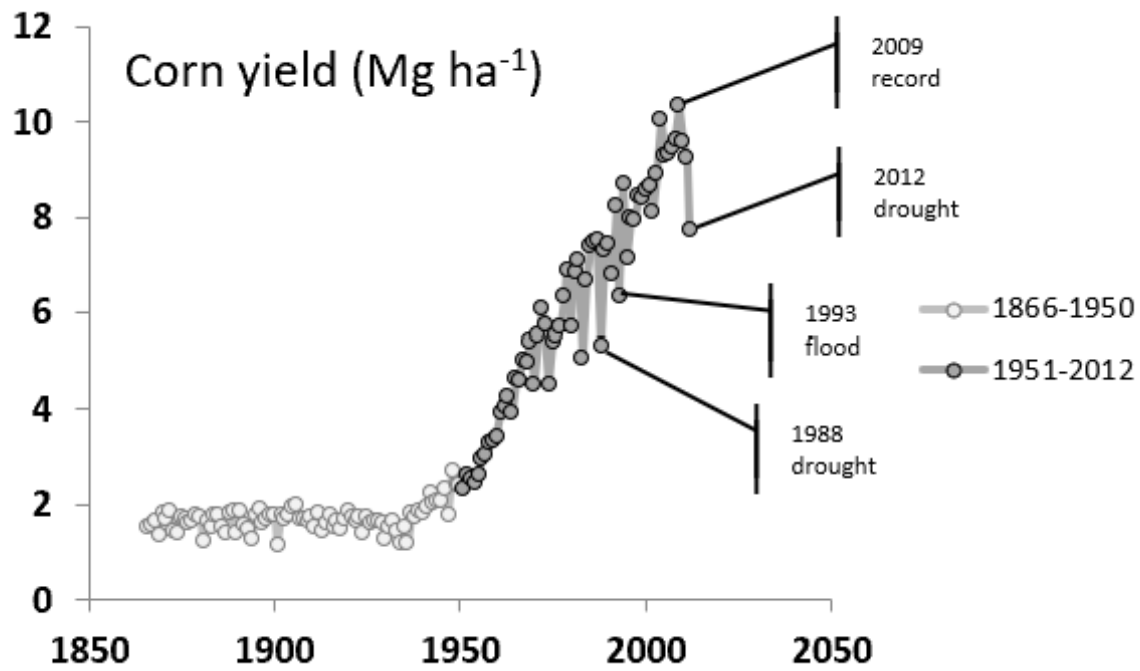
**Fenología de trigo
observada (●) y
modelada (—)
a diferentes
temperaturas
estacionales**



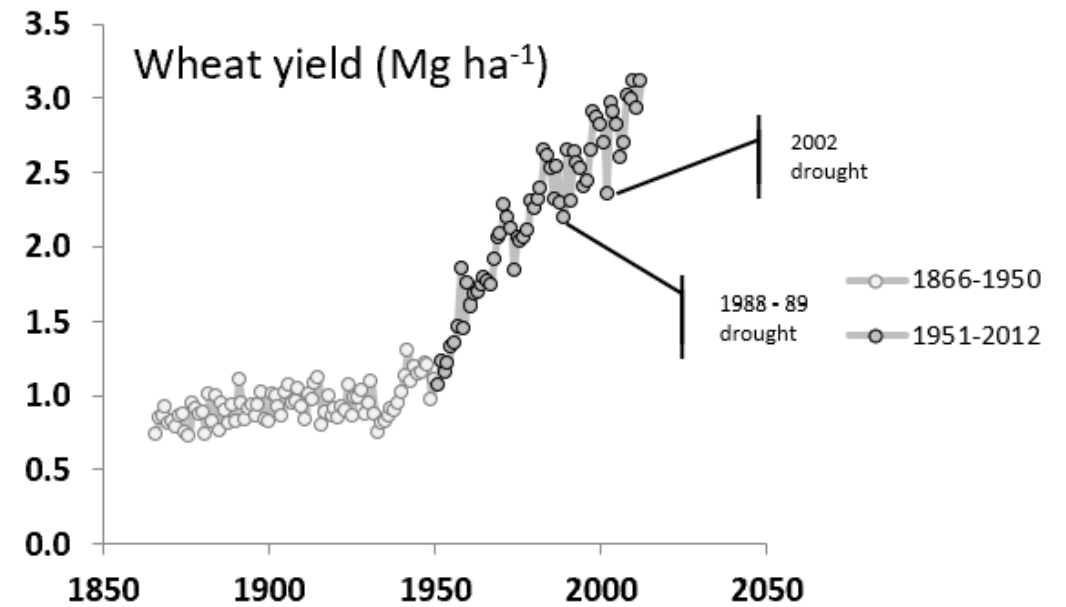
Asseng et al. 2015. Nature Climate Change 4:933-934.

Rendimientos históricos de maíz y trigo en USA

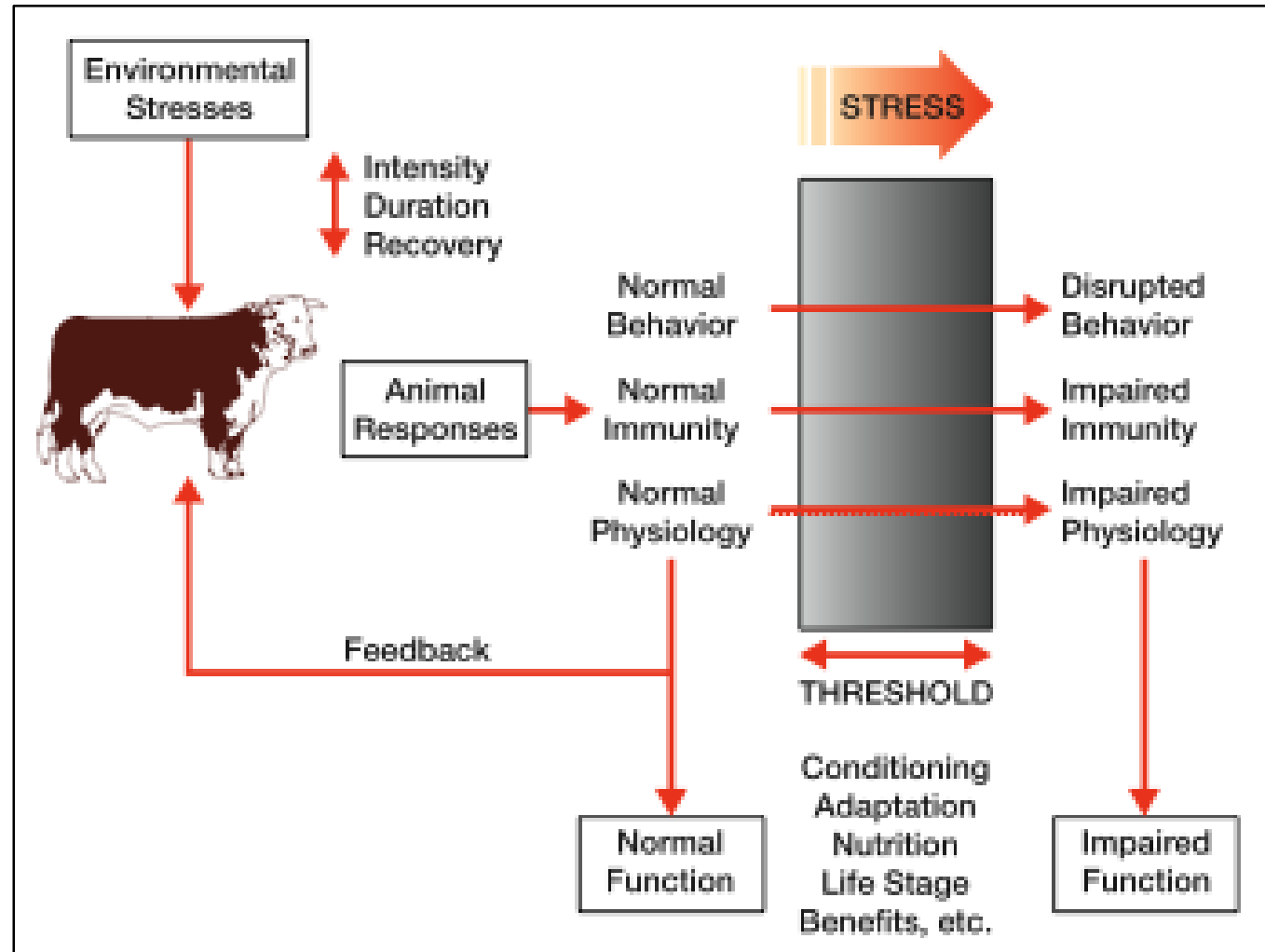
Rendimiento de maíz



Rendimiento de trigo

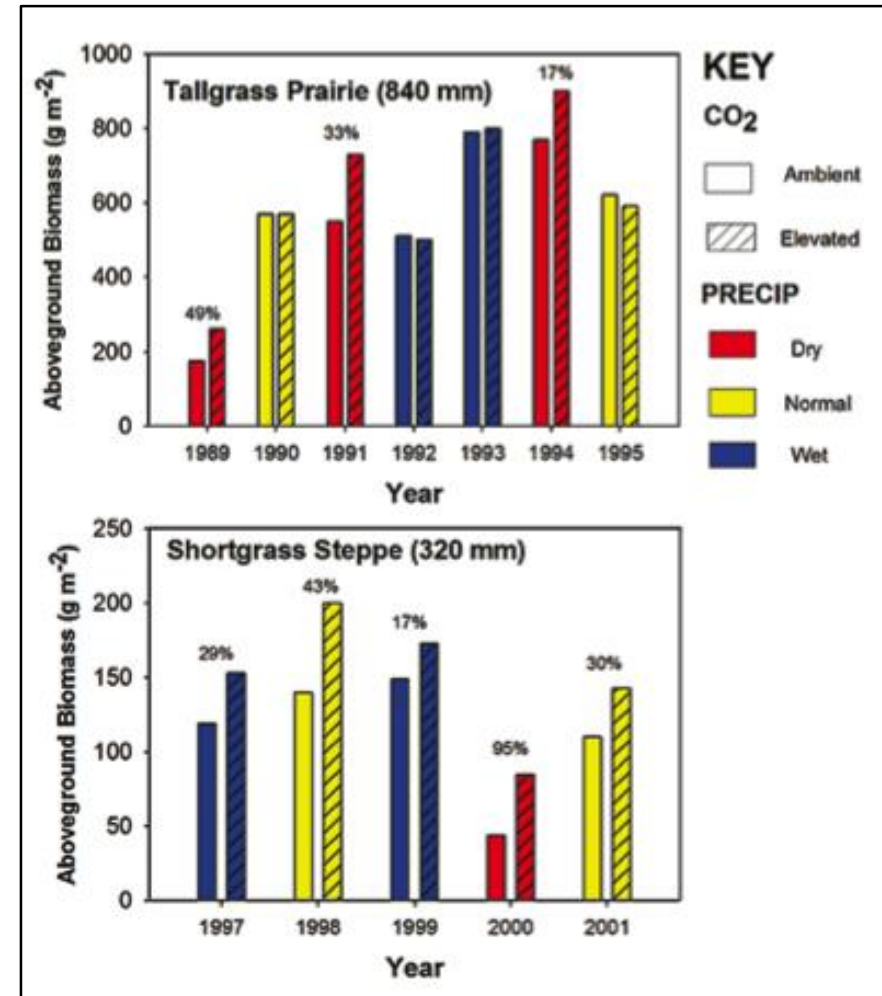
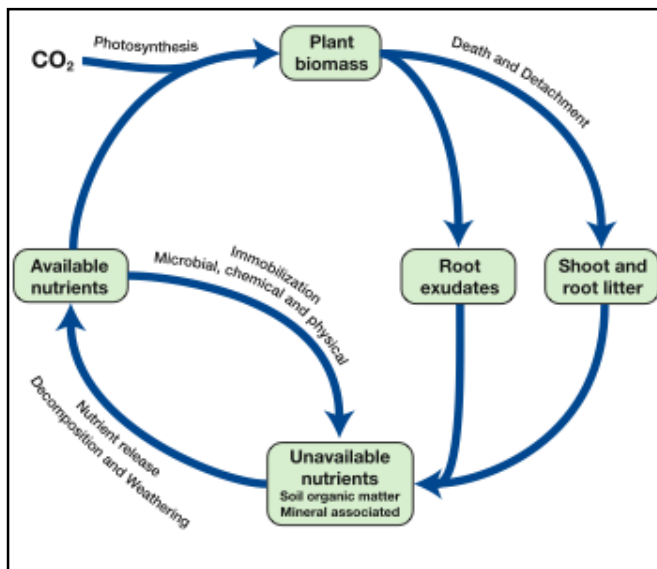


Los animales domésticos tendrán que adaptarse a / o evitar el estrés ambiental



Se espera que los cambios climáticos tengan impactos complejos sobre pastizales nativos y pasturas

- La ecología de los pastizales naturales está principalmente determinada por la distribución espacio-temporal y la precipitación
- En general, la respuesta de los pastizales y arbustos al cambio climático será similar a los cultivos



**Formular bases para el manejo sustentable de suelos
en un mundo con cambio climático emergente**

Estrategias y tácticas para el manejo sustentable de suelos en ambientes semiáridos y con cambio climático

- Usar los suelos de acuerdo a su aptitud
- Diseñar sistemas integrados de producción
 - Unidad de producción
 - A nivel cuenca
- Adaptar sistemas de cultivos por productividad y resiliencia
 - Aumentar eficiencia en el uso de agua
 - Cultivos de cobertura
 - Cultivos perennes
 - Manejo de nutrientes
 - Balance de cantidades y flujos de C y N
 - Reducir erosión
- Evaluar oportunidades de mitigación
 - Auditoría de gases de invernadero NGWP
 - Life Cycle Analysis
 - Servicios de Ecosistemas
- Monitorear evolución de la calidad del suelo
- Incorporar criterios de biodiversidad en el diseño de manejos sustentables

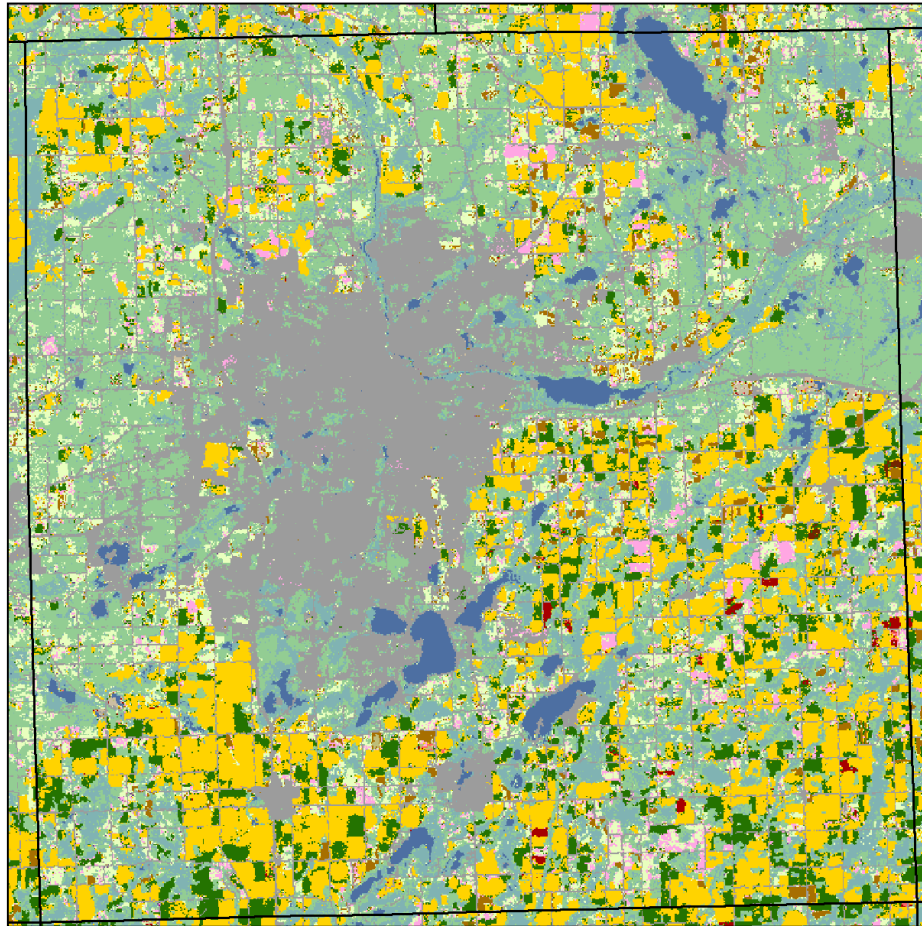
Land Use

Yellow	Corn
Green	Soybean
Pink	Alfalfa
Red	Dry beans
Light Green	NLCD Deciduous Forest
Light Blue	NLCD Woody Wetlands
Brown	Winter wheat
Light Yellow	Grass/Pasture/Non-Ag

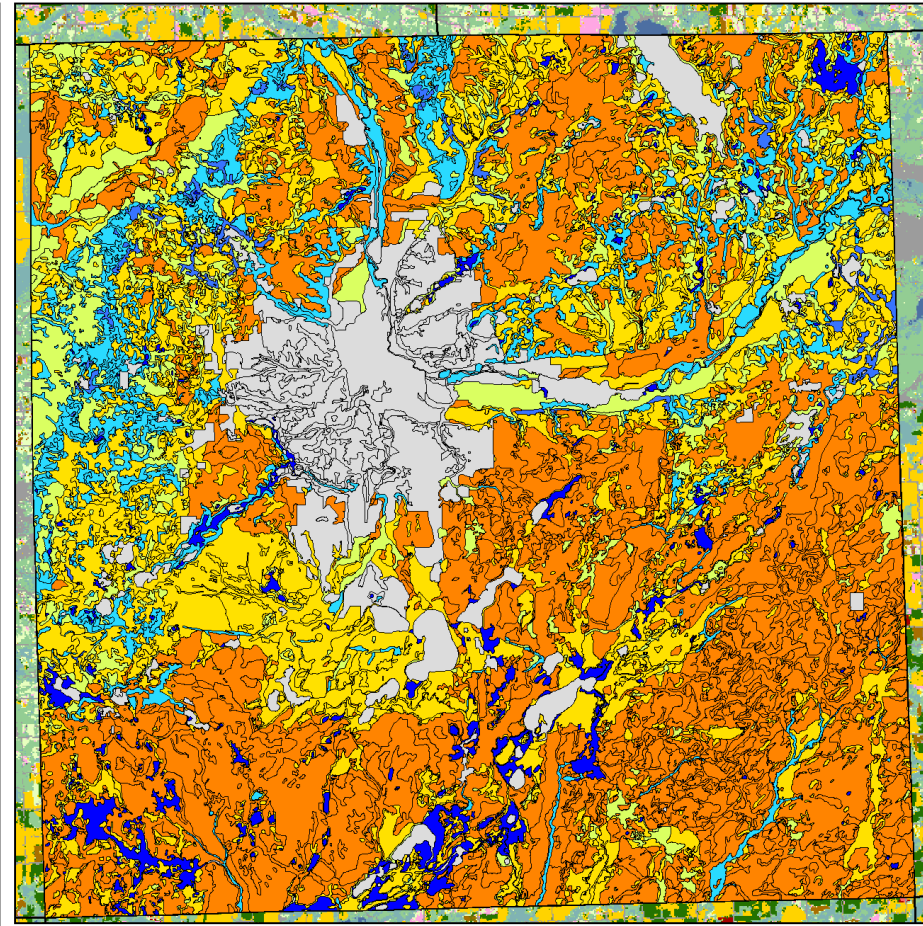
Usar los suelos de acuerdo a su capacidad

Land Capability

Red	Class II
Yellow	Class III
Light Yellow	Class IV
Cyan	Class VI
Blue	Class VII
Dark Blue	Class VIII



Land Use from NCDL



Land Capability from SSURGO

Puede la capacidad de retención del agua del suelo el riesgo y volatilidad de los rendimientos de maíz?

La volatilidad del rendimiento de maíz varió a nivel condado durante el período 2000-2014

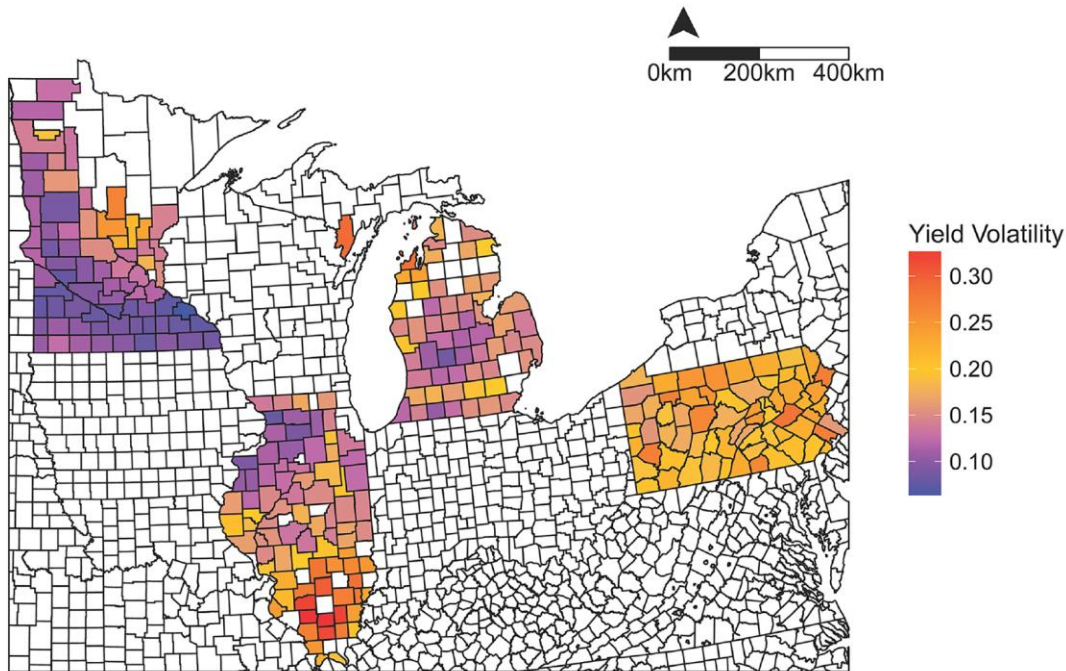


Fig 2. County-level maize yield volatility (coefficient of variation) in each state over 2000–2014. Minnesota (top left state) had the least yield volatility and Pennsylvania (far right) the most. Illinois (second from left) had the greatest variation in yield volatility.

La volatilidad del rendimiento de maíz varió a nivel condado durante el período 2000-2014

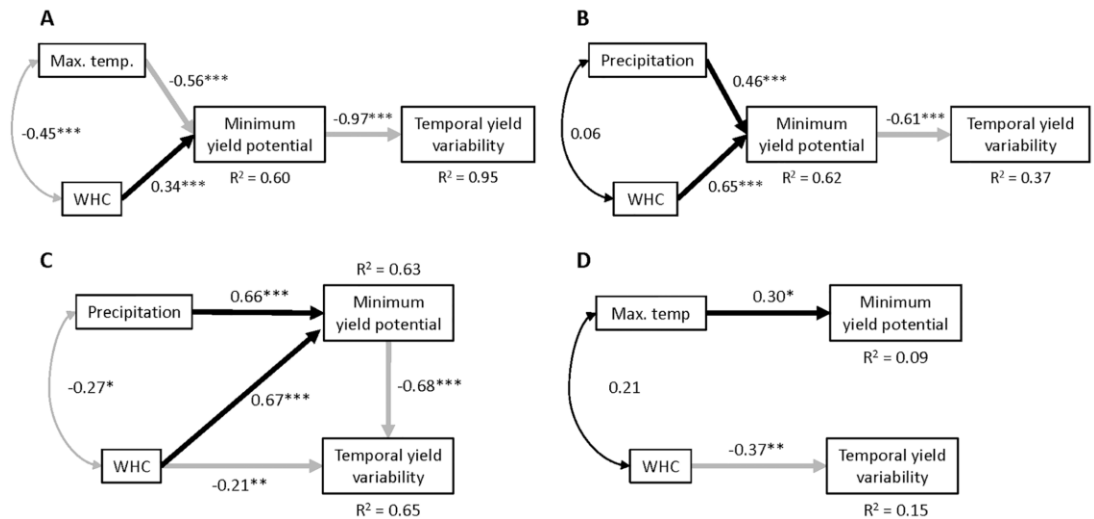
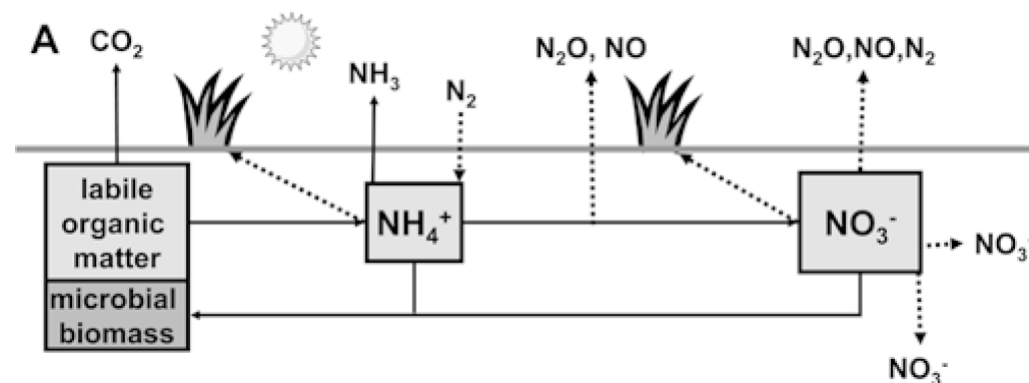


Fig 4. Best supported structural equation models showing effects of climate and edaphic factors on county-level maize minimum yield potential (downside risk) and temporal variability (volatility) for each state. (A) Illinois ($\chi^2 = 5.2$, $df = 2$, $P = 0.07$, $N = 81$), (B) Michigan ($\chi^2 = 2.8$, $df = 2$, $P = 0.24$, $N = 47$), (C) Minnesota ($\chi^2 = 0.68$, $df = 1$, $P = 0.41$, $N = 52$), (D) Pennsylvania ($\chi^2 = 0.75$, $df = 2$, $P = 0.69$, $N = 56$). Model fit values indicate good support for each model. Double-headed arrows denote covariances among variables, whereas single-headed arrows denote standardized regression coefficients. Black arrows show positive relationships; grey arrows show negative relationships. $P < 0.05$ (*), $P < 0.01$ (**), $P < 0.001$ (***)

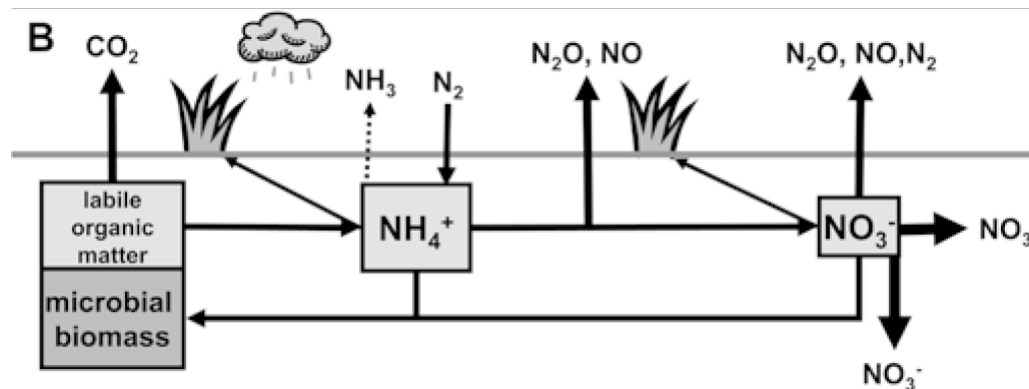
Cómo interactúan los ciclos húmedos-secos y biogeoquímicos en sistemas semiáridos?

- Los ciclos de sequía-humedad son característicos de los suelos de la región semiárida
- Estos ciclos generan una muy rápida respuesta de
 - crecimiento de la población microbiana del suelo y en
 - tasas de mineralización de C y N
- Durante el período húmedo, aumenta las tasas de mineralización, nitrificación, absorción de N por las plantas y pérdidas de N gaseoso (N_2O y NH_3)
- Los ciclos secos-húmedos también pueden facilitar la ruptura de los agregados del suelo
- La textura del suelo también tiene su influencia en los ciclos de secos-húmedos

Ciclo seco



Ciclo húmedo

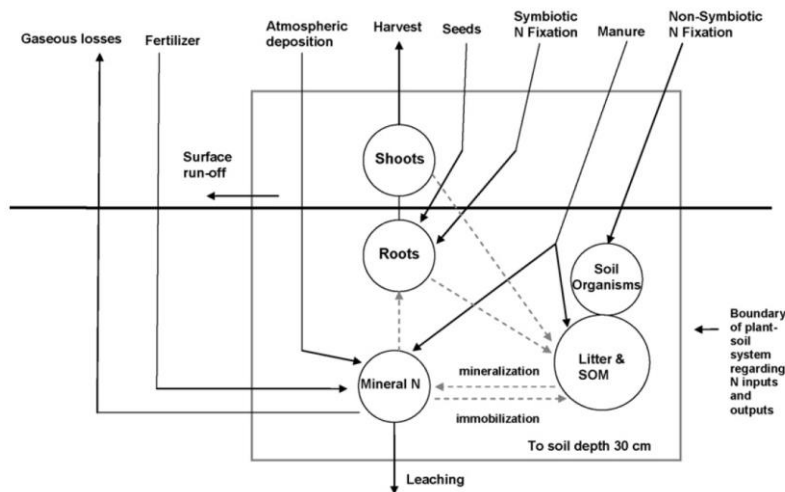


El valor del balance de N para evaluar la sustentabilidad de agroecosistemas

Hendrigan Plots, Breton, Alberta, Canada



N stocks and flows of Hendrigan Plots

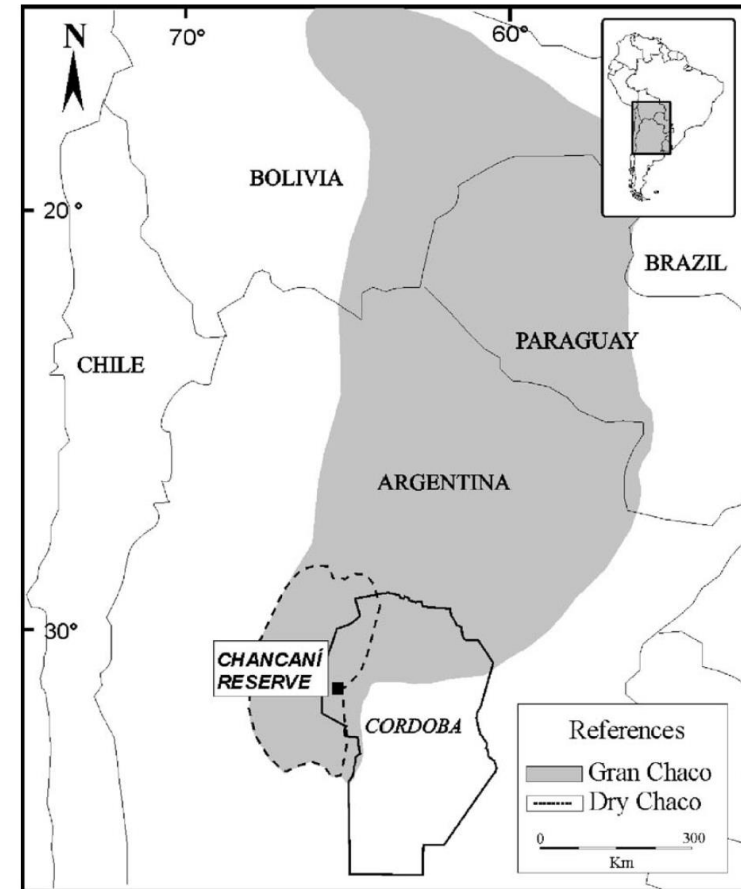
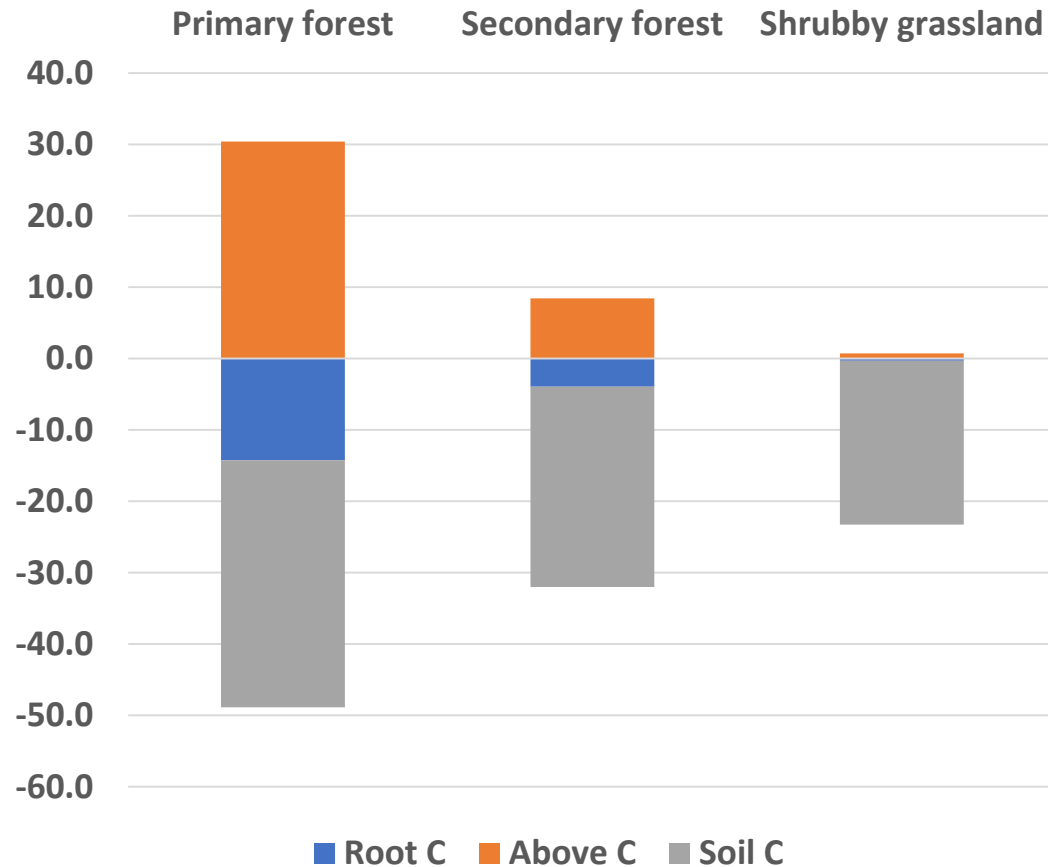


Ross et al. 2008. Agric. Ecosys. Environ. 127:241-250.

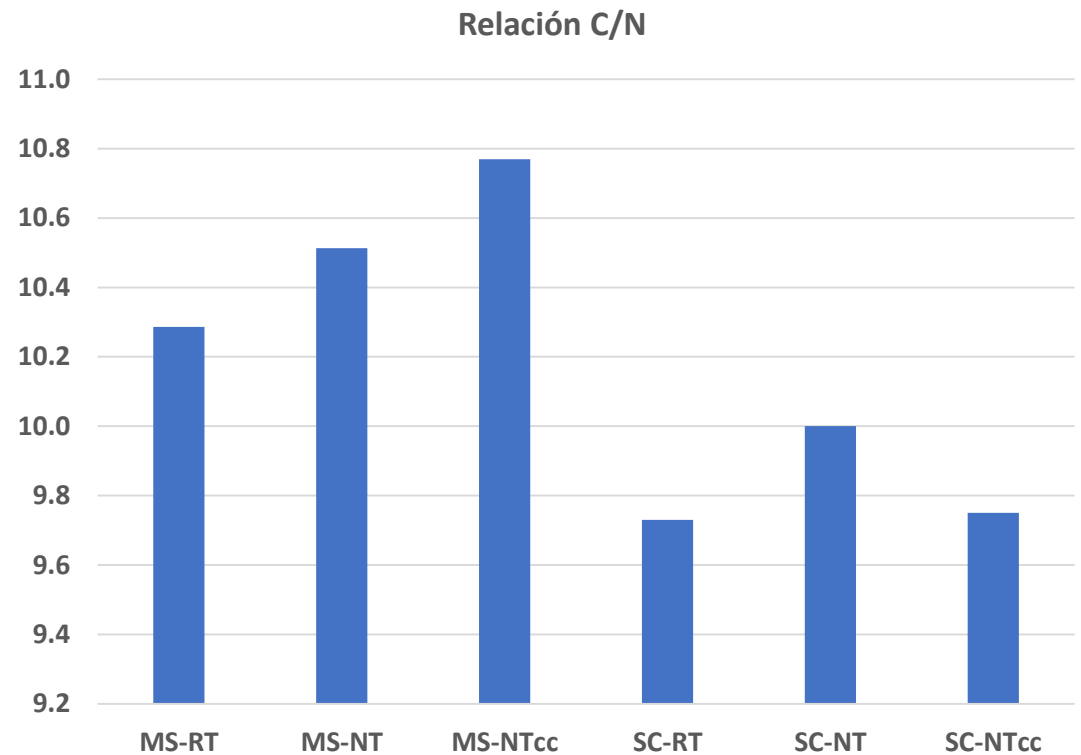
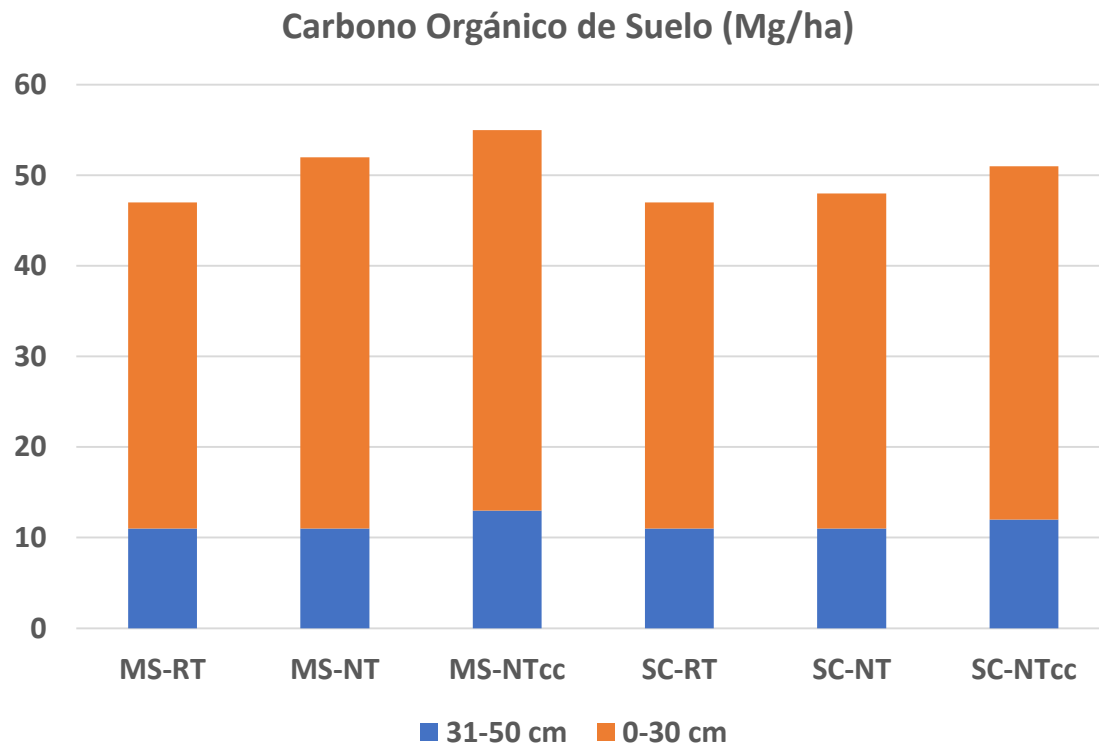
N balance of Hendrigan Plots
(1982 – 2005)

	Agro-ecol. rotation	Cont. forage	Cont. barley
	-----	kgN ha ⁻¹ y ⁻¹	-----
N inputs			
Deposition	5.0	5.0	5.0
Symb. Fixation	111.4	26.5	0.0
Non-symb Fix.	5.0	5.0	5.0
Manure	47.6	0.0	0.0
Fertilizer	0.0	17.5	91.1
Seed	2.8	0.0	1.7
Total inputs	171.8	54.0	102.8
N outputs			
Exported	70.2	30.8	58.2
Gaseous loss	14.7	3.8	13.7
Leaching loss	12.3	0.0	9.1
Runoff	1.0	0.0	1.5
Total outputs	98.2	34.6	82.5
Totals			
Input - Output	73.6	19.4	20.3
Soil N diff.	75.9	65.0	23.6
Unaccounted	-2.3	-45.6	-3.3

Carbono (Mg C/ha) en tres ecosistemas del Chaco árido

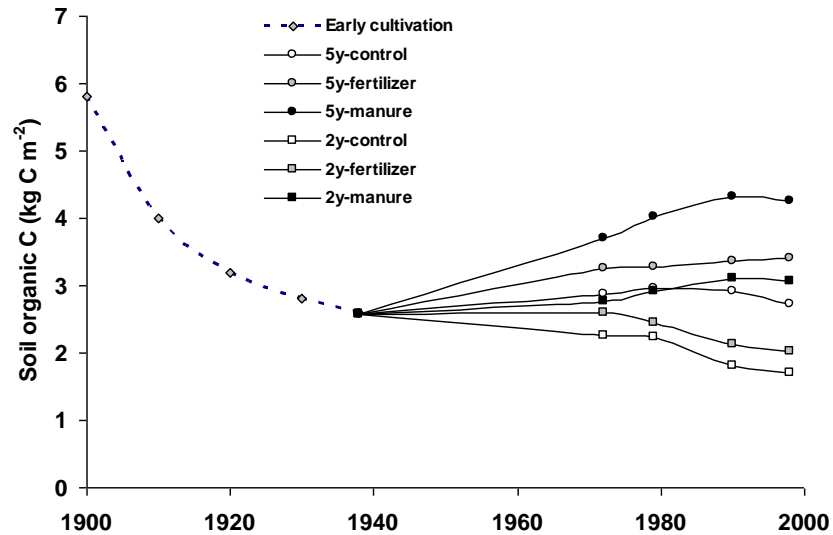


Efectos de rotación y labranza sobre carbono orgánico de suelo y relación C/N en Haplustol Entico



Long-term experiments: essential tools to understand management effects on soil organic C dynamics

- ⇒ **Forest to agriculture (~1900)**
- ⇒ **Breton Plots initiated in 1930**
- ⇒ **Current treatments (1938)**
 - **Two crop rotations: a) fallow-wheat, b) five year (wheat-oats-barley- forage- forage)**
 - **Fertility treatments: a) control, b) fertilizer, c) manure**

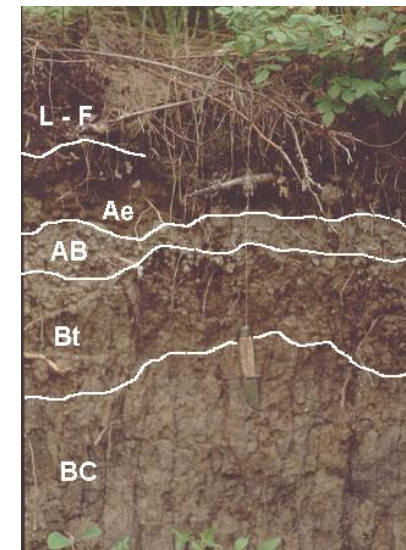


Izaurrealde et al. (2001)

Aerial view of Breton Classical Plots



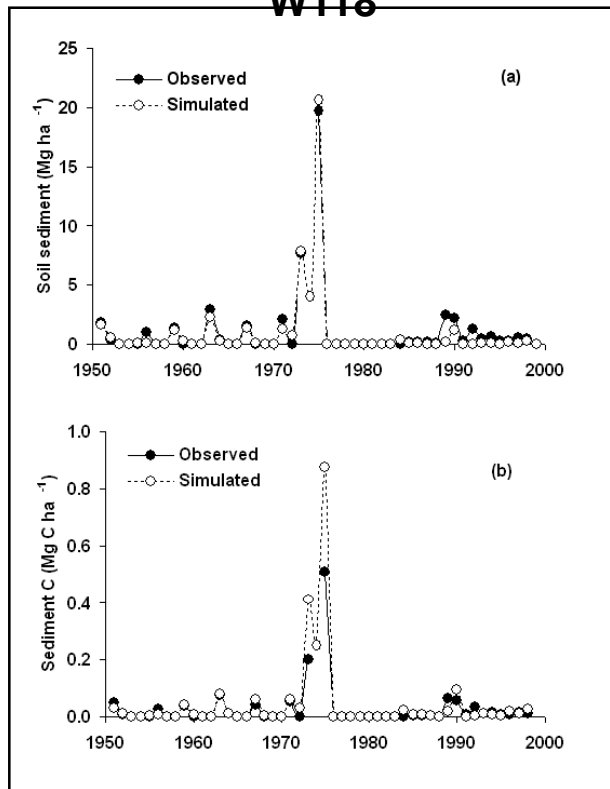
Photo:
RC Izaurrealde



Breton loam

Uso de datos históricos para simular el balance de C a nivel de cuenca en North Appalachian Experimental Watershed (Coshocton, OH)

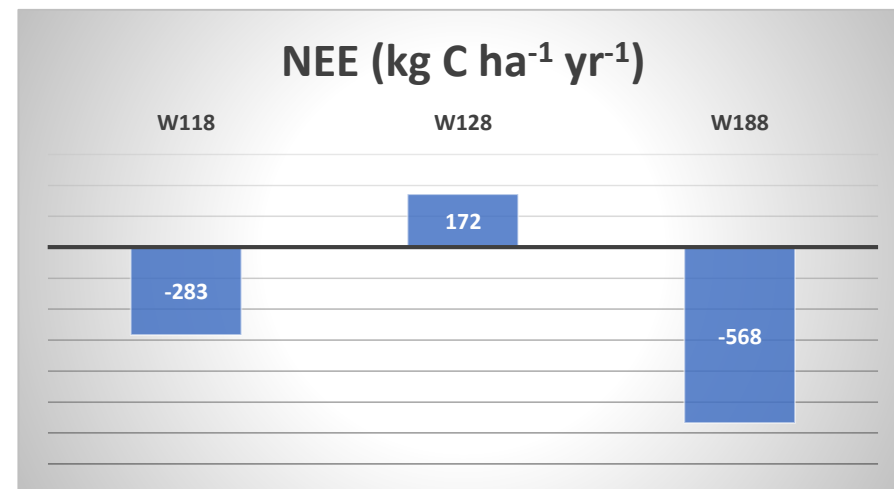
Sedimento y C erosionado- W118



Balance de C (Mg C/ha; Mg C/ha/yr para ΔTOC)

	W118	W128	W188
TOC inicial	72	95	95
C adicionado	291	212	212
C sustraído	271	221	198
TOC final	92	85	109
ΔTOC	0.41	-0.28	0.39

NEE (kg C ha⁻¹ yr⁻¹)



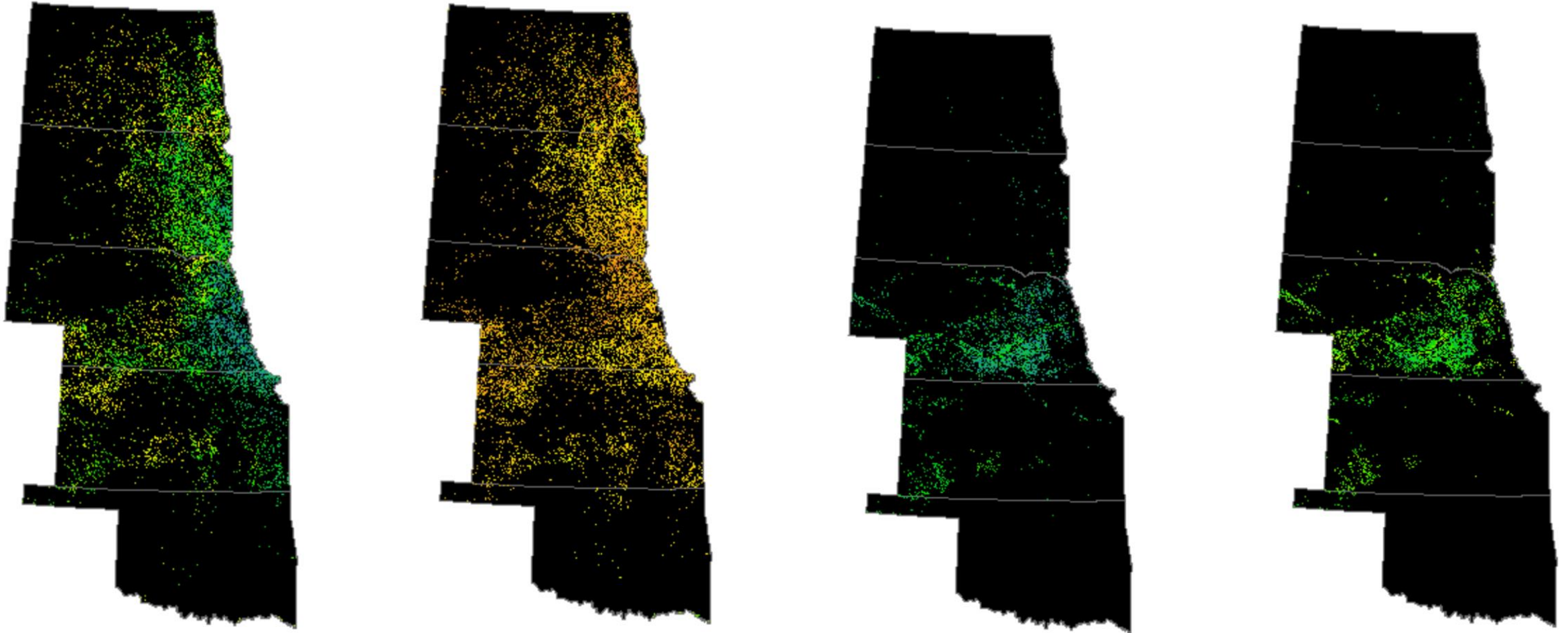
Net Ecosystem Exchange (NEE) en lotes de maíz en 2012 (sequía) y 2015 (normal)

Maíz - seco - 2015

Maíz - seco - 2012

Maíz - riego - 2015

Maíz - riego - 2012



Net Ecosystem Exchange (NEE) ($\text{Kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$)

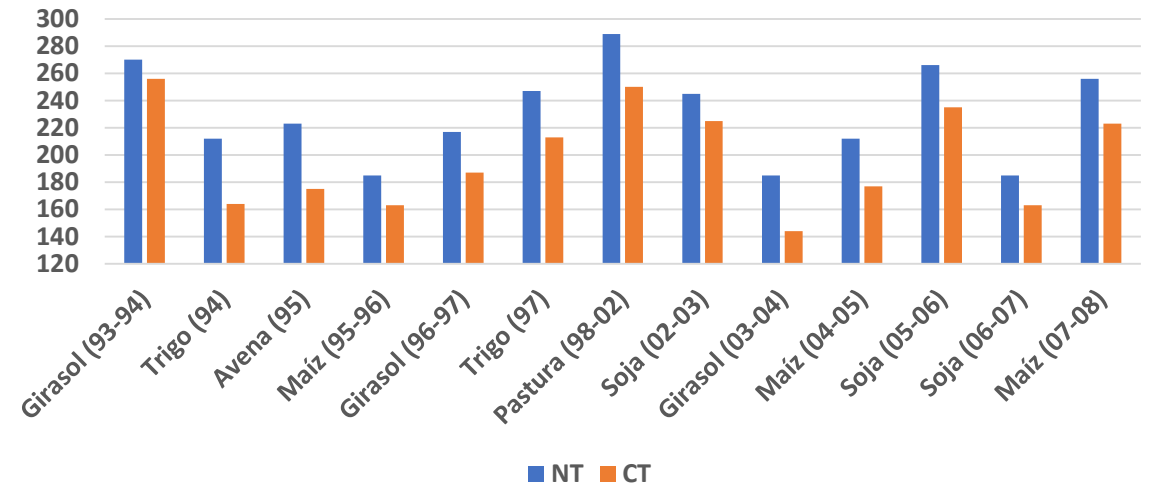
-11177

4200

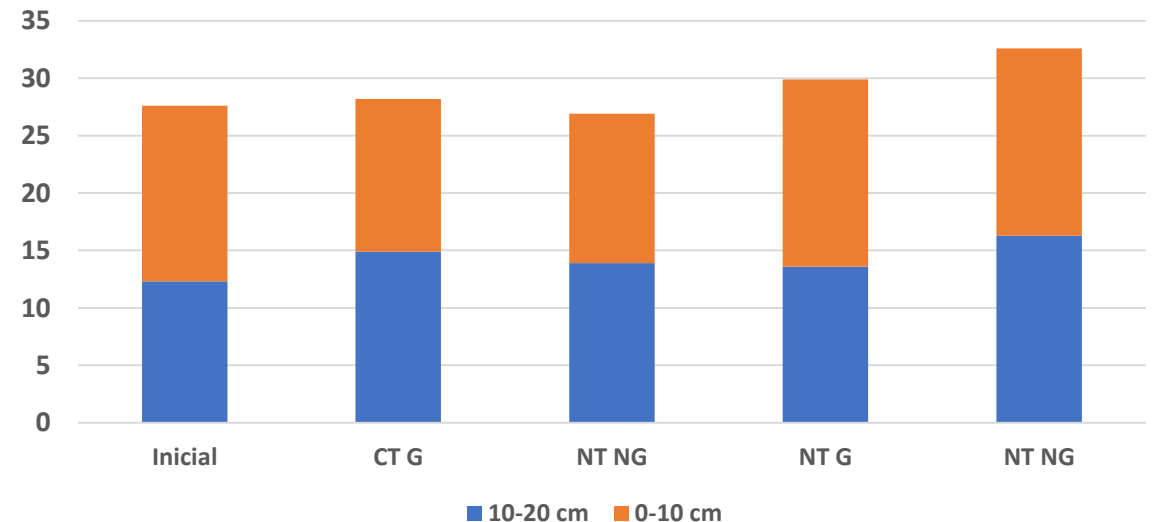
Cómo afecta el pastoreo las propiedades del suelo, especialmente en siembra directa?

- Estudio a campo de 16 años sobre Haplustol éntico en el NE de La Pampa
- Mediciones: propiedades físicas (arcilla, limo, densidad aparente, agregados), contenido de C orgánico (total y en fracciones), y N total
- Algunas conclusiones:
 - Siembra directa (NT) > TOC que en labranza convencional (CT)
 - Mayor D_b en superficie
 - Mayor agua disponible
- Conclusión: El pastoreo no afectó negativamente las propiedades de un Haplustol éntico bajo las condiciones semiáridas del NE de La Pampa

Agua Disponible Suelo (mm - 1.4 m prof.)

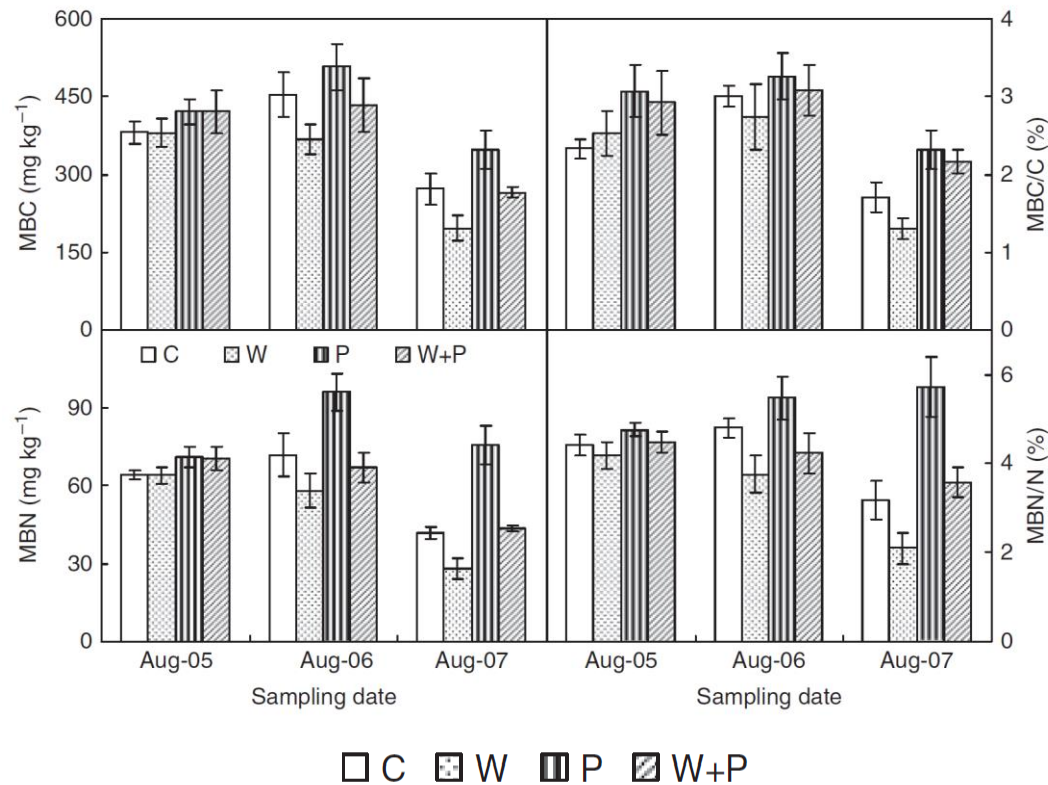


Stocks de Carbono (Mg/ha)

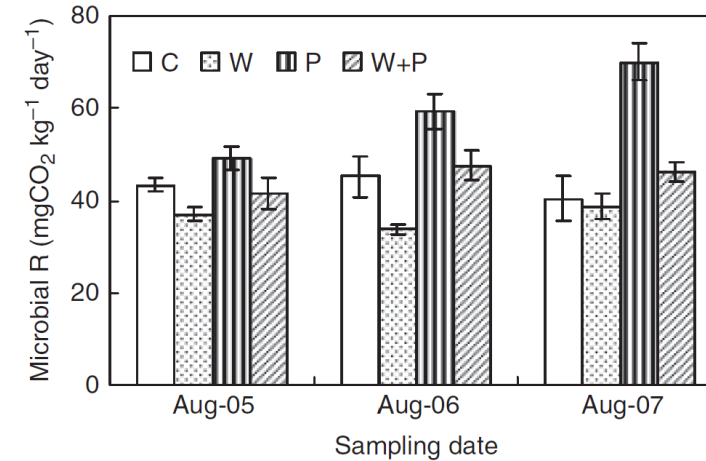


Cómo responde la respiración microbiana al calentamiento y precipitación en una pradera semiárida?

Efectos del calentamiento y precipitación sobre la masa microbiana del suelo

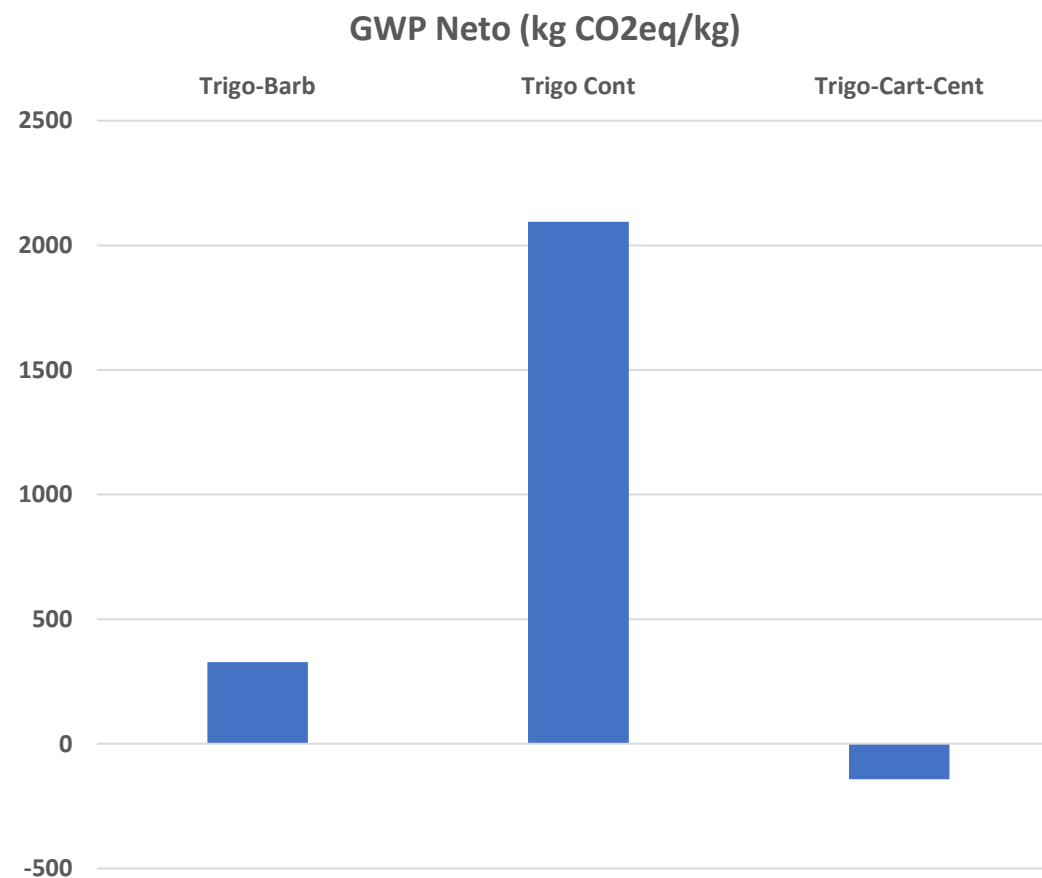
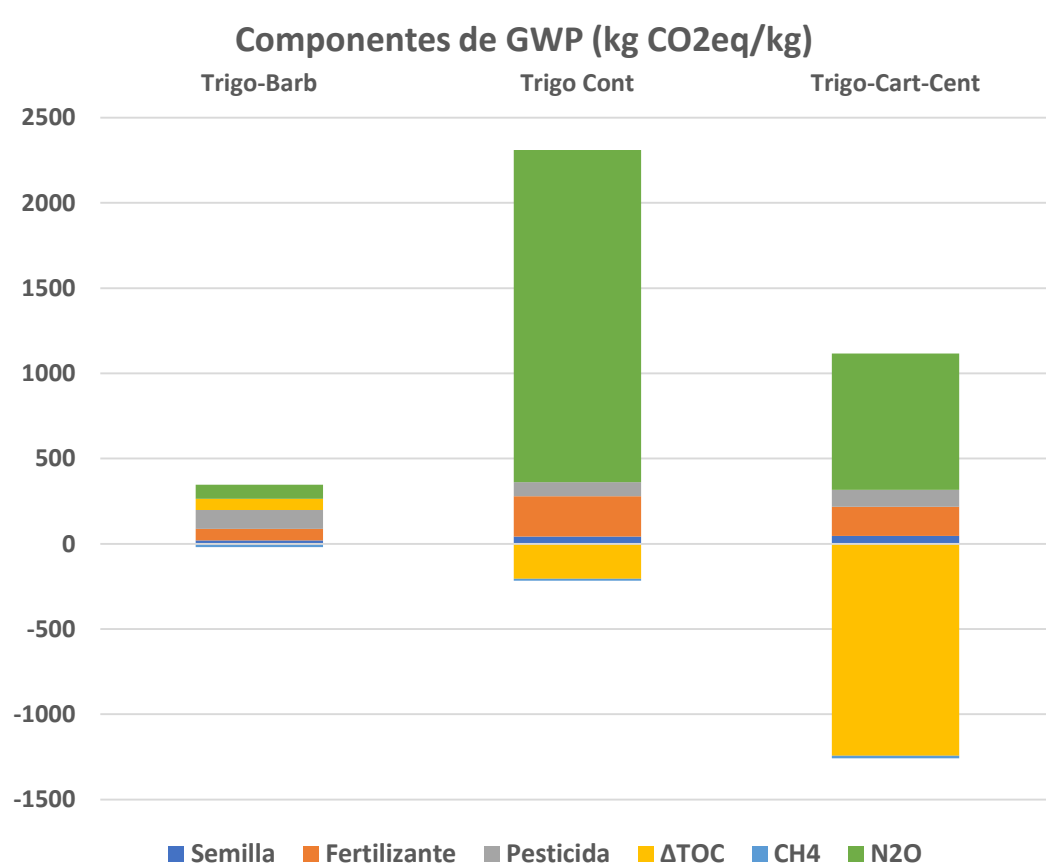


Efectos del calentamiento y precipitación sobre la respiración microbiana



- Variabilidad climática en la pradera semiárida afectó sensiblemente la respiración del suelo y la masa microbiana
- El aumento de la precipitación tuvo un efecto mayor que el calentamiento en la región semiárida examinada

Potencial de Calentamiento Neto (GWP_{neto}) en rotaciones con trigo en región semiárida



El suelo como
respuesta a muchos
de los temas globales

Janzen et al. 2011. Soil
Soc. Am. J. 75:1-8.

