



EL SUELO Y SU ROL EN EL CAMBIO CLIMÁTICO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS (INIA)

Erika Vistoso Gacitúa, Ing. Agrónomo, Dr. Cs.

Osorno, 22 de agosto de 2019.



Chile
en marcha

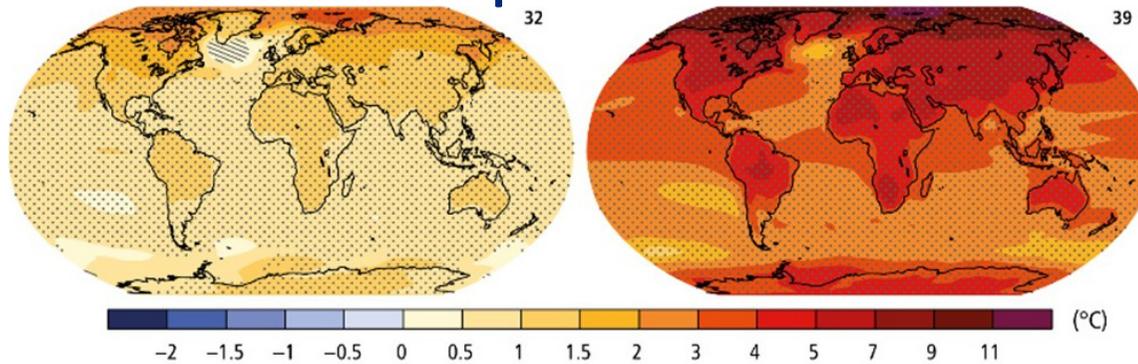


CONTENIDO

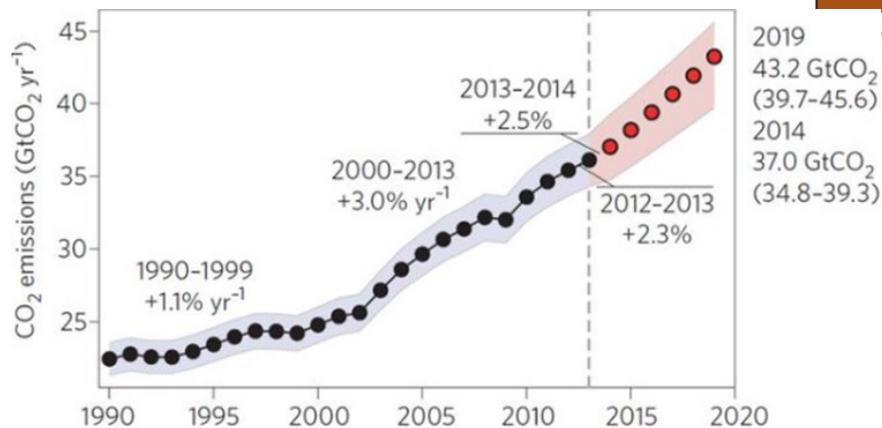
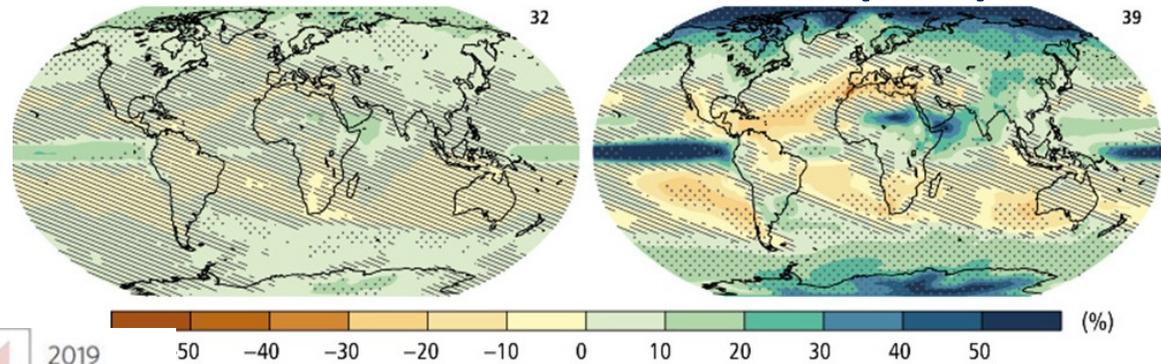
- **Introducción.**
 - **Intercambio de carbono en el suelo.**
 - **Impactos del cambio climático en los suelos.**
 - **Prácticas de manejo para mitigar el cambio climático.**
 - **Comentarios finales.**
- 

EL CAMBIO CLIMÁTICO ES UNA REALIDAD

Incremento de la temperatura



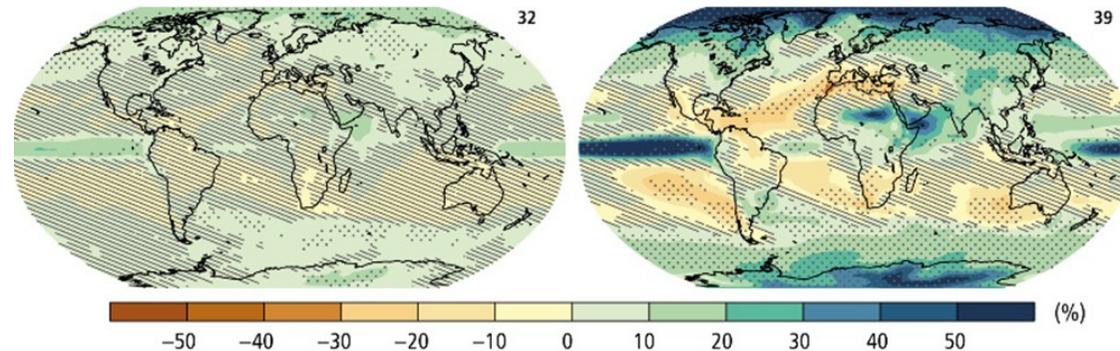
Cambio en la distribución de la precipitación



Incremento de la concentración de CO₂

EFFECTOS EN LA AGRICULTURA ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

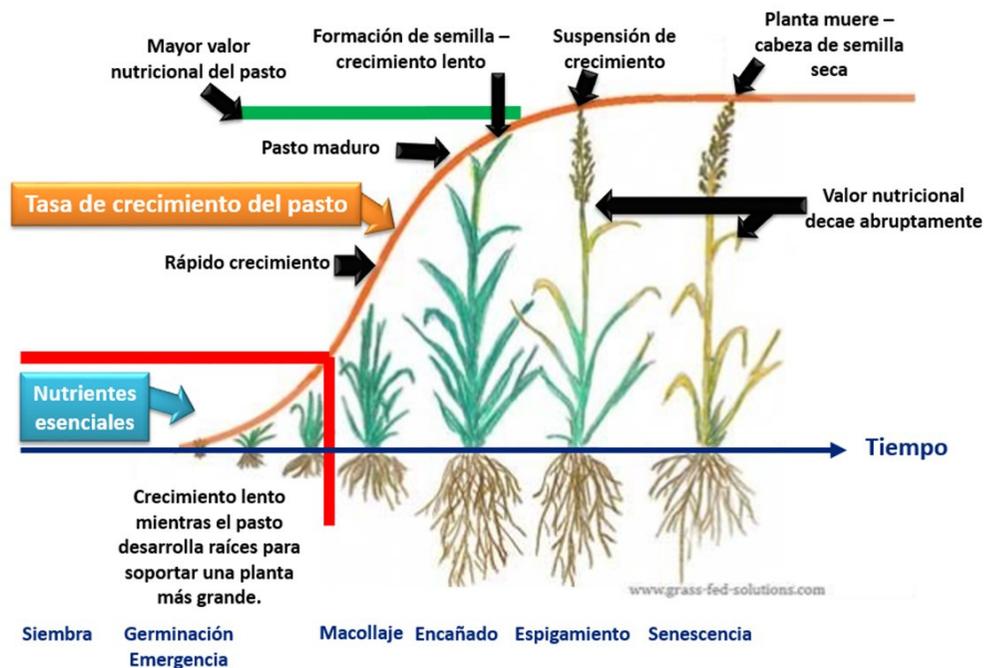
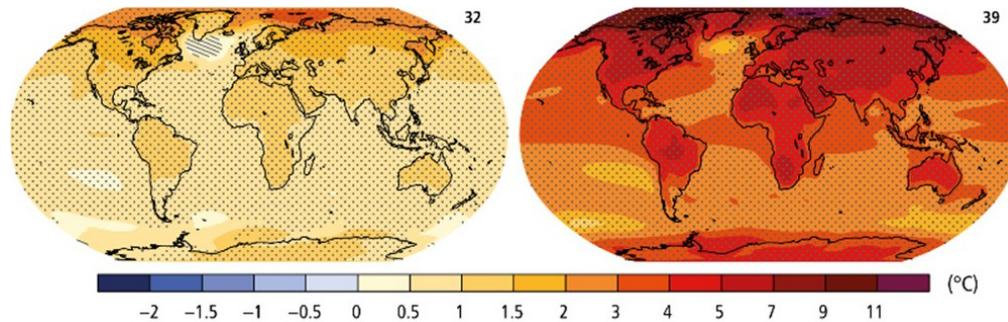
- Pérdida de la capacidad productiva asociada a una menor disponibilidad hídrica debido a:



- ✓ Incremento en la evapotranspiración
- ✓ Períodos de déficit hídrico
- ✓ Cambios en la distribución de la precipitación
- ✓ Menor capacidad de infiltración de agua

EFFECTOS EN LA AGRICULTURA ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

- Cambios en la fenología vegetal asociados al incremento de la temperatura

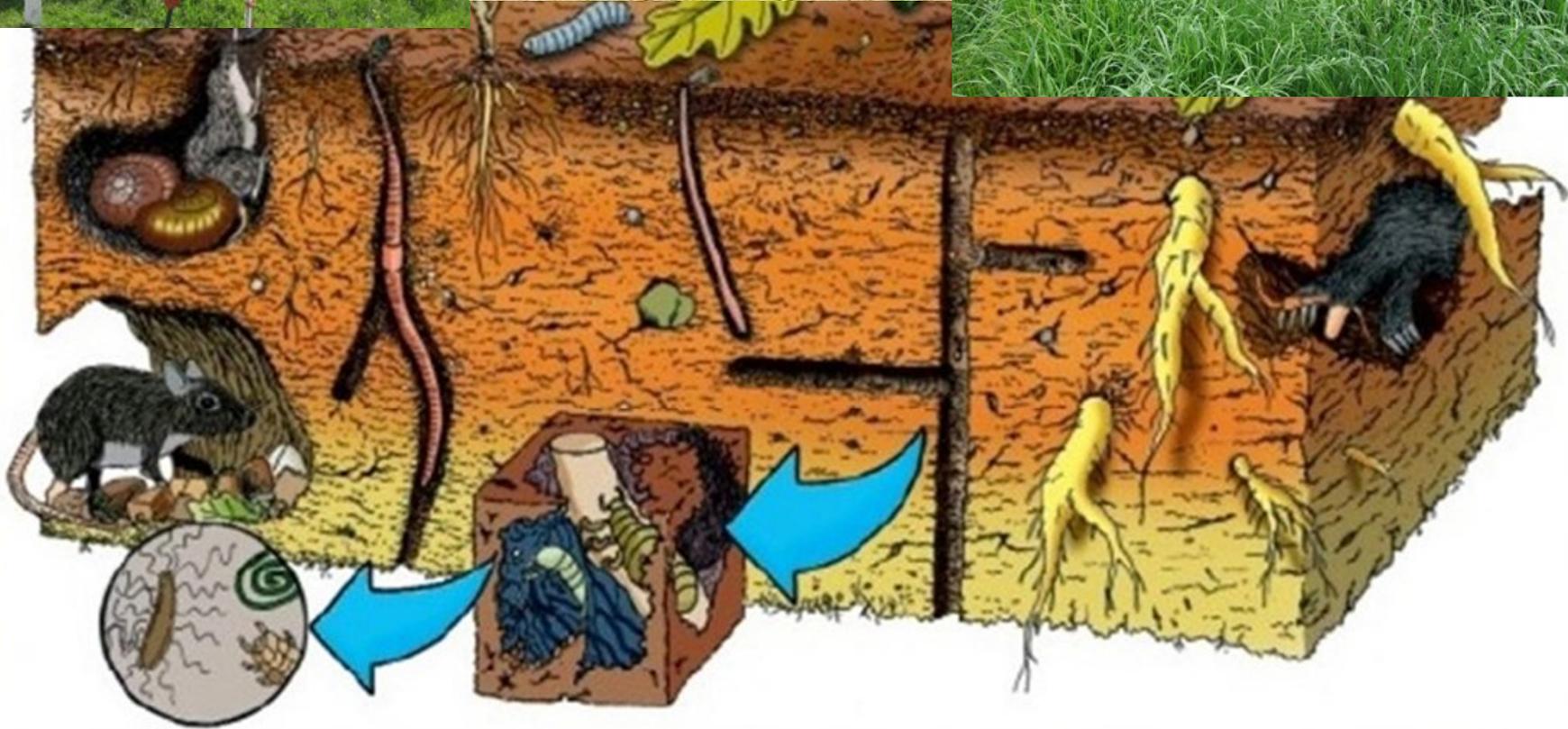


Adelanto de los períodos fenológicos

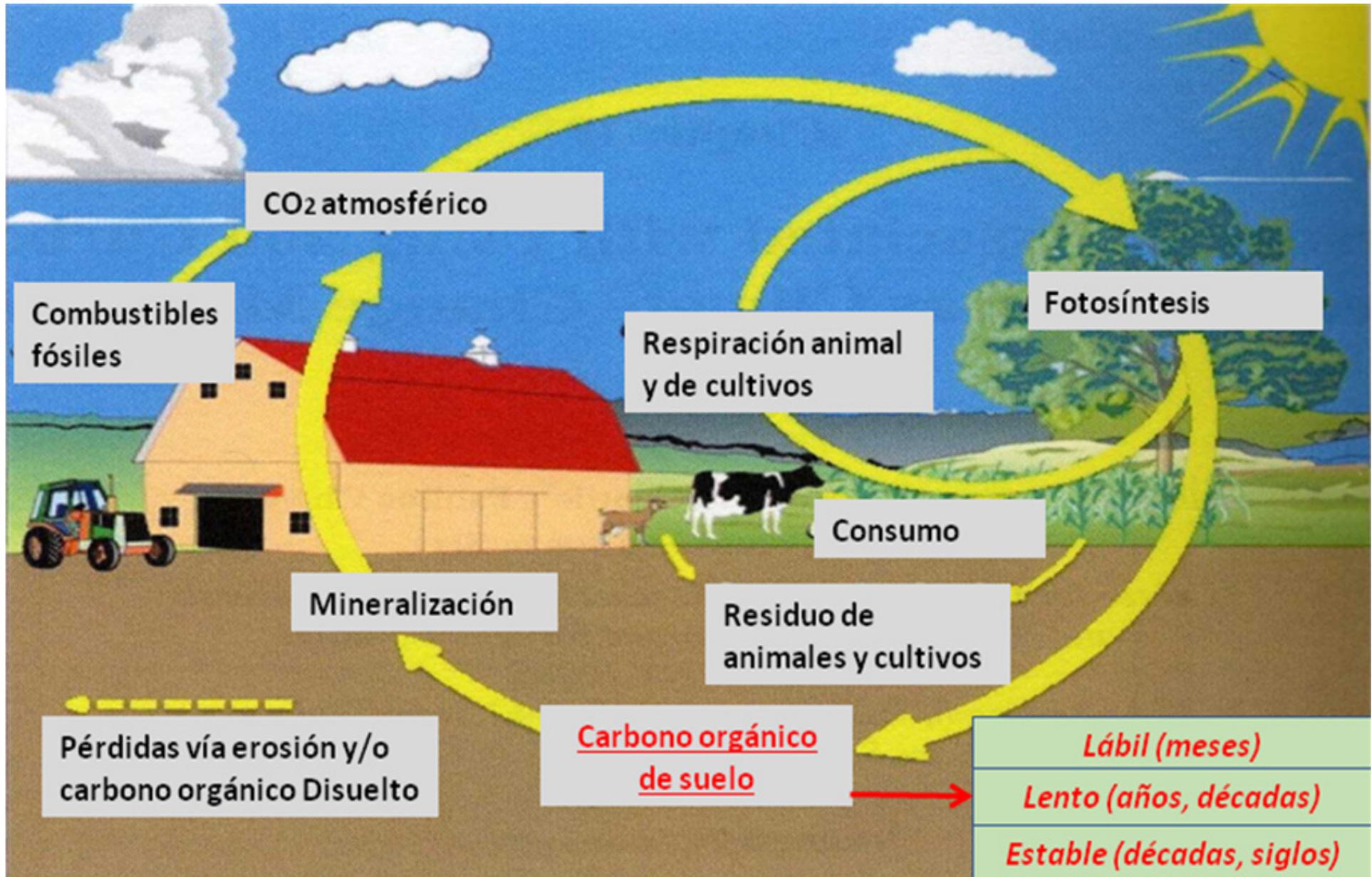
Cambios en la composición de productos, asociados al efecto combinado de altas temperaturas y déficit hídrico



EL SUELO

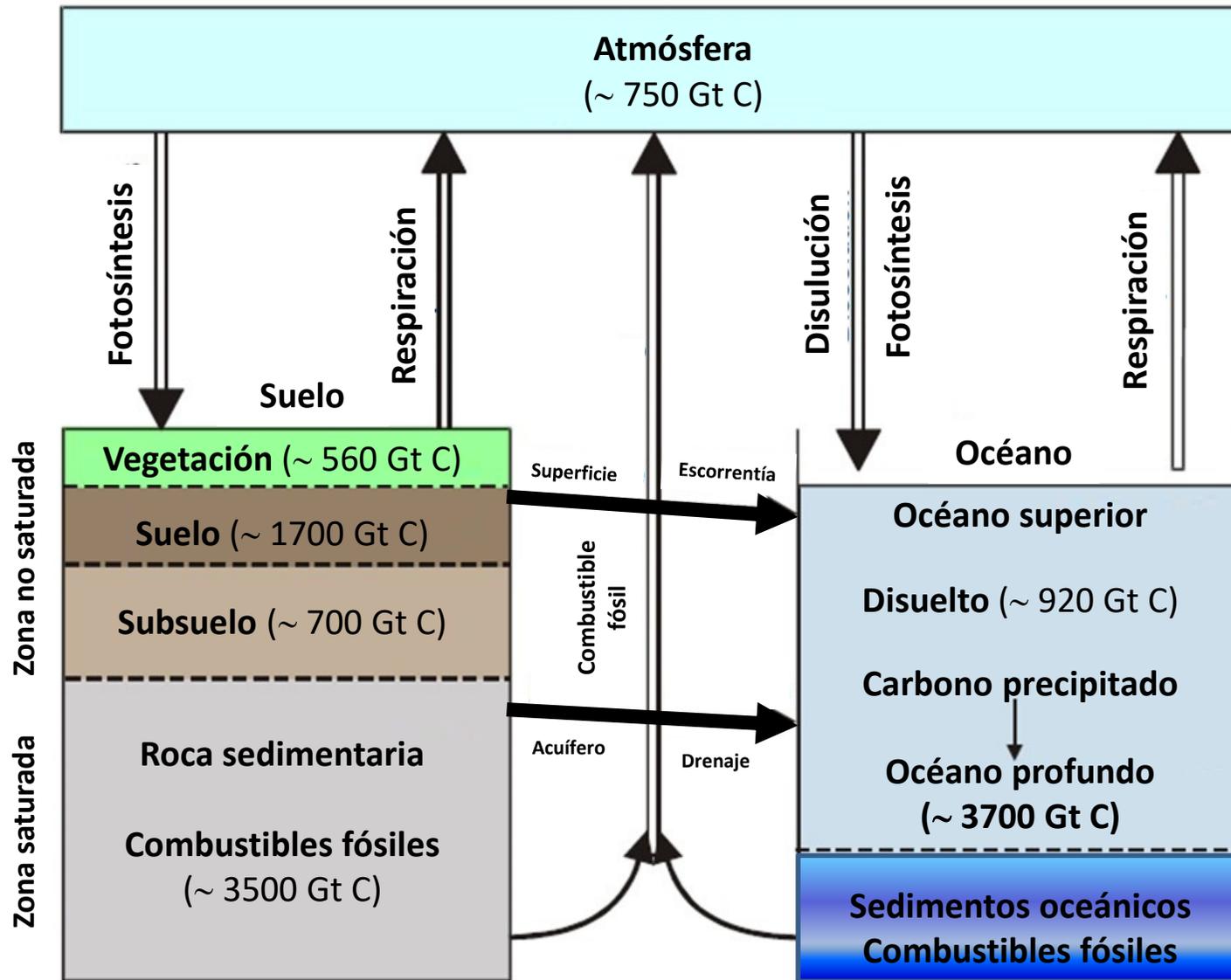


CICLO DEL CARBONO



Cortesía: Carlos Ovalle, INIA La Cruz

Reservas e intercambio de carbono en el continuo suelo-océano-atmósfera



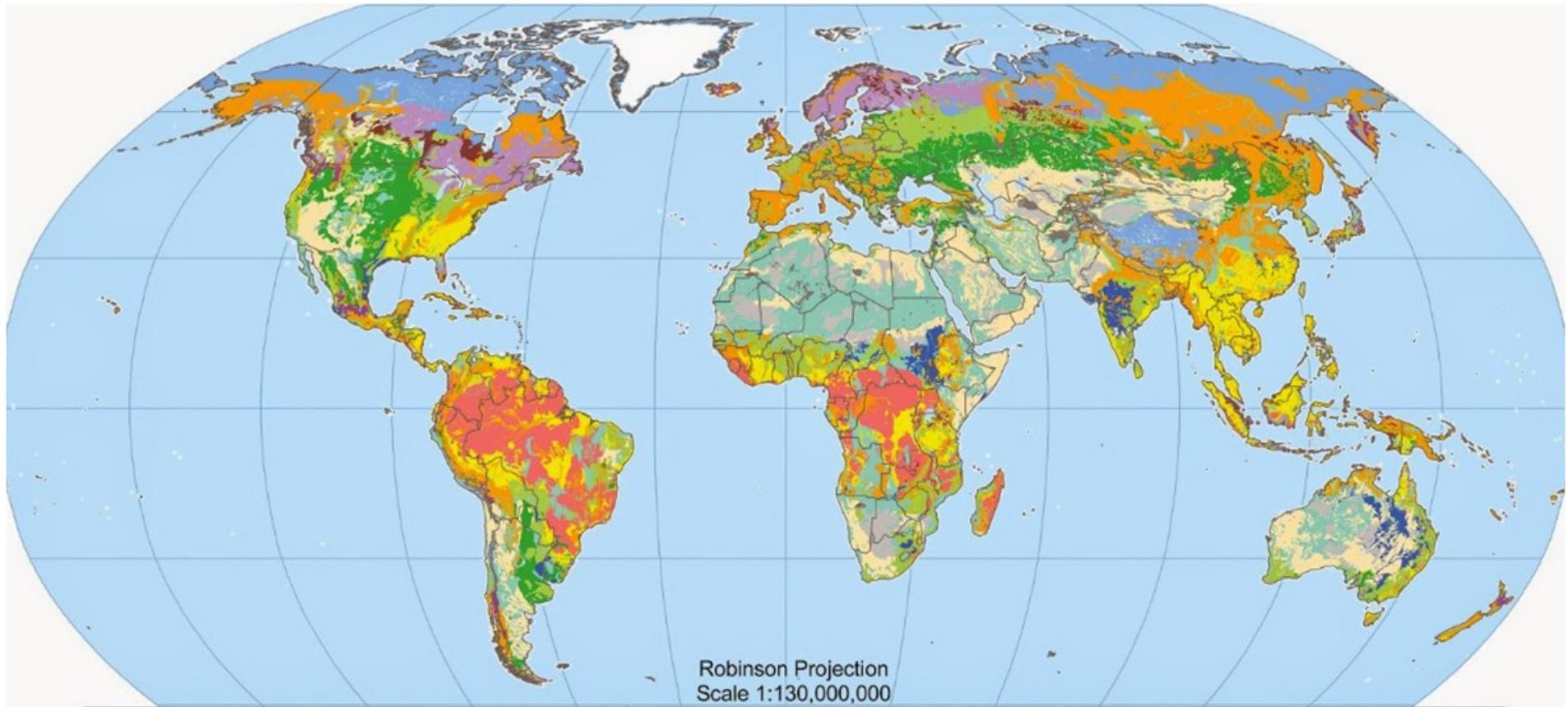
Fuente: Adaptado de Hillel y Rosenzweig (2011)

Beneficios de la materia orgánica del suelo



Cortesía: Carlos Ovalle, INIA La Cruz

Distribución global de los principales ordenes de suelo



Robinson Projection
Scale 1:130,000,000

ORDENES DE SUELO

 Alfisoles	 Entisoles	 Inceptisoles	 Espodosoles	 Suelo rocoso
 Andisoles	 Gelisoles	 Mollisoles	 Ultisoles	 Arena movediza
 Aridisoles	 Histosoles	 Oxisoles	 Vertisoles	 Hielo/Glaciár

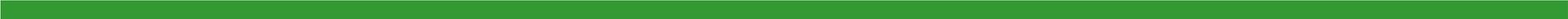
Fuente: www.usda.gov



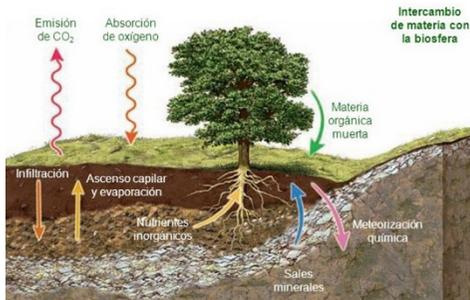
MASA ESTIMADA DE CARBONO EN LOS SUELOS

Ordenes de suelo	Área (km ²)	C orgánico global (Gt)
Alfisoles	13.159	90,8
Andisoles	975	29,8
Aridisoles	15.464	54,1
Entisoles	23.432	232,0
Gelisoles	11.869	237,5
Histosoles	1.526	312,1
Inceptisoles	19.854	323,6
Mollisoles	9.161	120,0
Oxisoles	9.811	99,1
Espodosoles	4.596	67,1
Ultisoles	10.550	98,1
Vertisoles	3.160	18,3
Otros suelos	7.110	17,1
TOTAL	130.667	1.6699,6

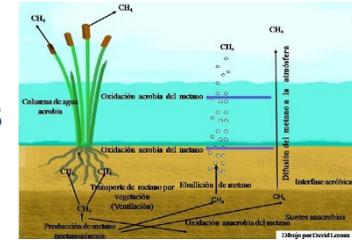
Fuente: Adaptado de Hillel y Rosenzweig (2011)



SECUESTRO DE CARBONO EN EL SUELO



- Descomposición por microorganismos a CO_2 , CH_4
- MO disuelta
- Erosión hídrica y/o eólica del suelo



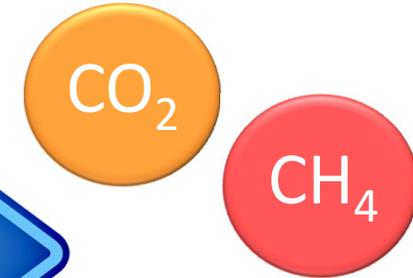
- Fotosíntesis
- Residuos vegetales sobre el suelo
- Estiércoles
- Suelo depositado por erosión
- MO disuelta en cursos de agua



Fuente: Adaptado de Powlson *et al.* (2013)

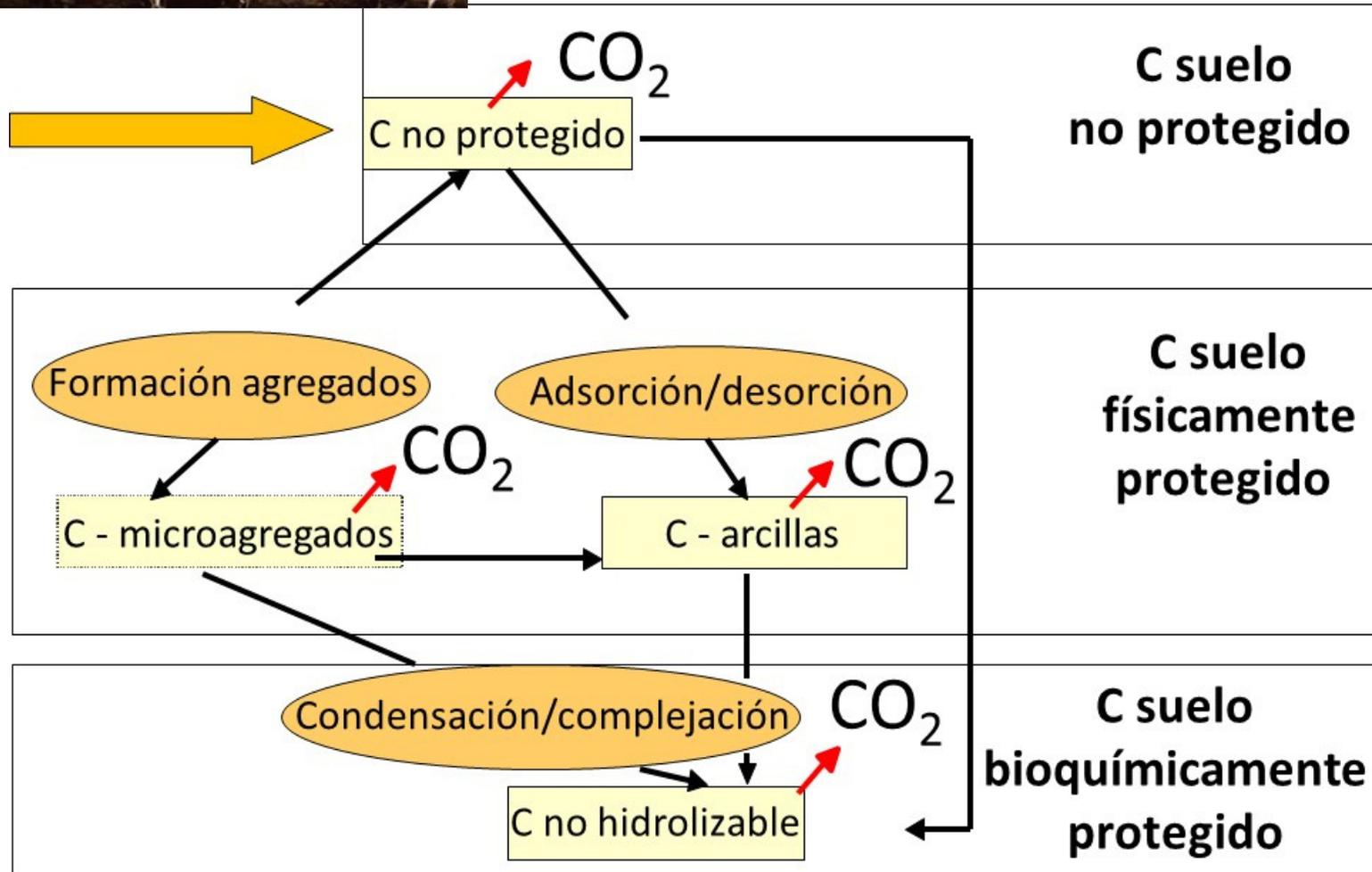
SECUESTRO DE CARBONO EN EL SUELO

La cantidad de MO o C orgánico en el suelo es un balance entre las entradas y salidas



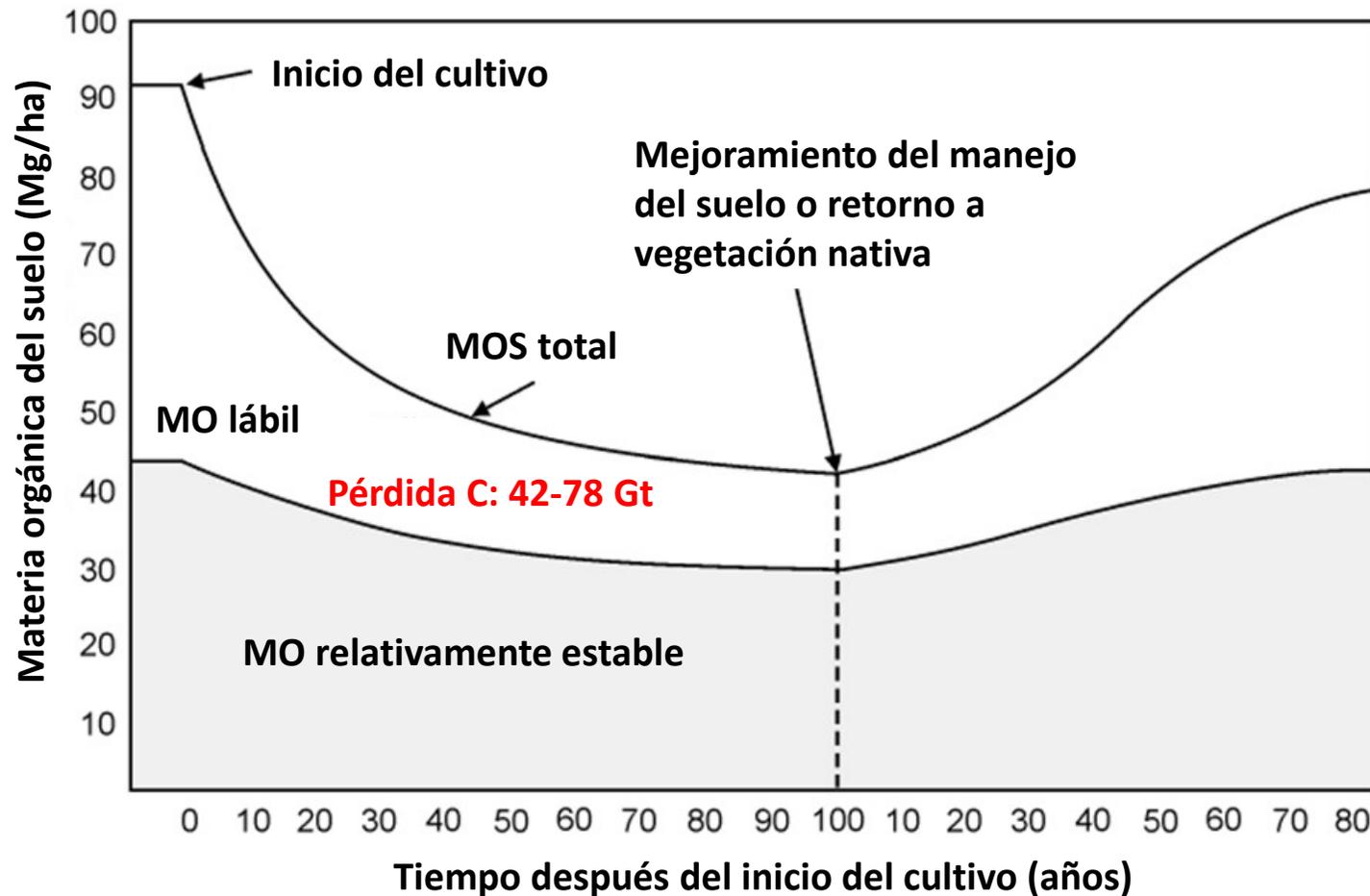
Entradas – Salidas = Flujo neto

Flujo neto positivo = Secuestro de C



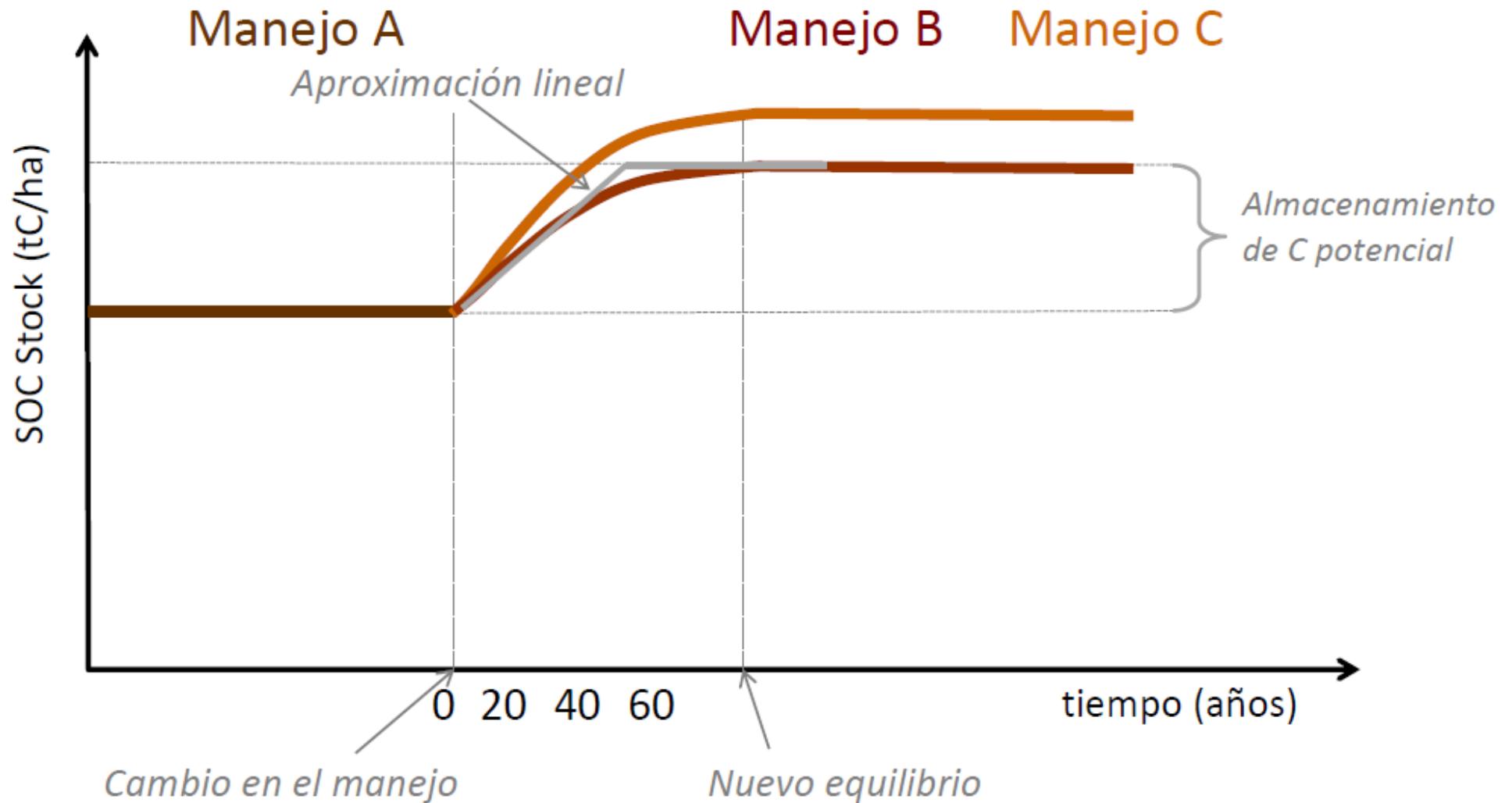
Fuente: Adaptado de Six *et al.* (2002)

Cambios en el contenido de carbono del suelo después de deforestación, cultivo y reforestación



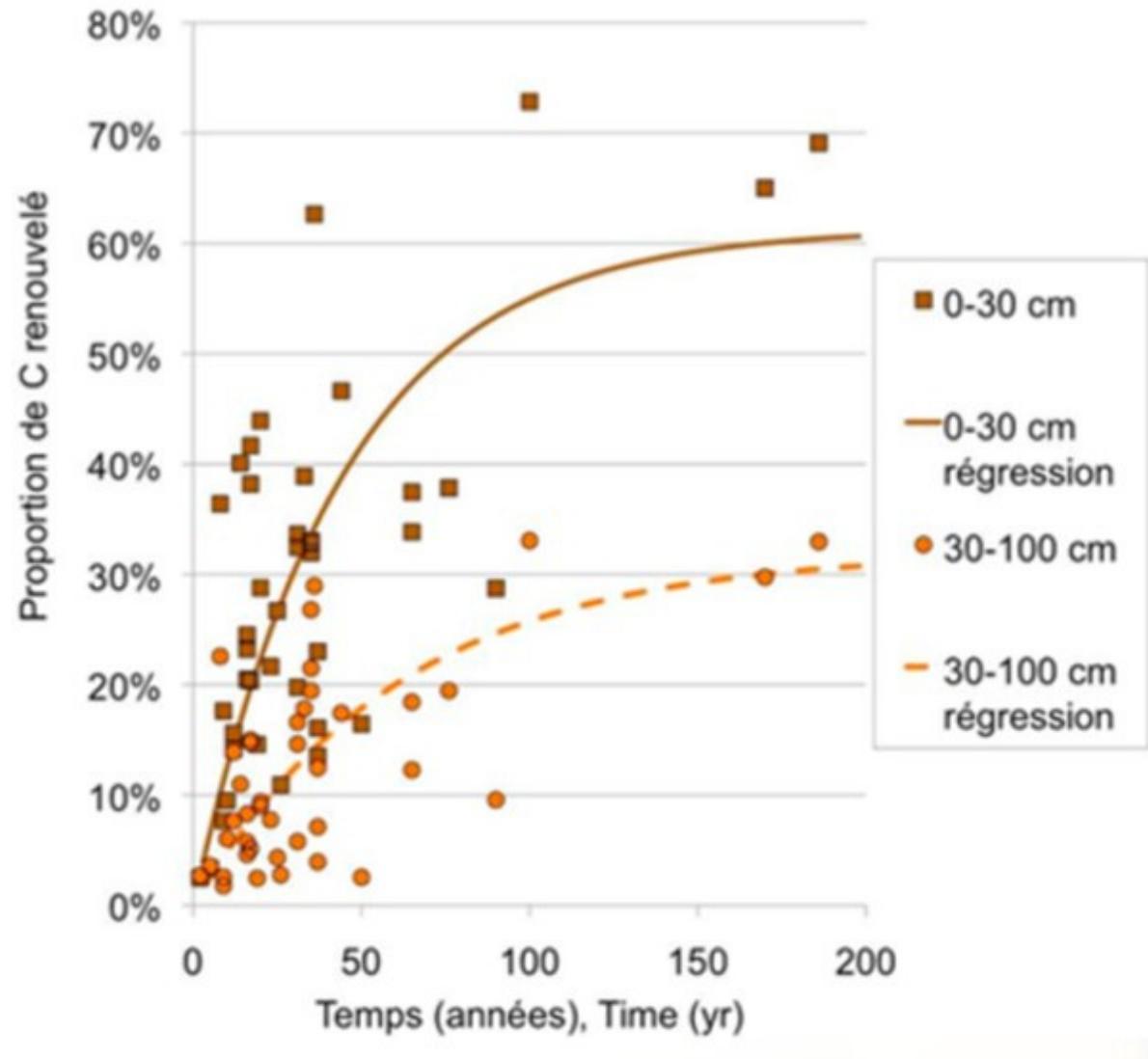
Fuente: Adaptado de Hillel y Rosenzweig (2011)

ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO



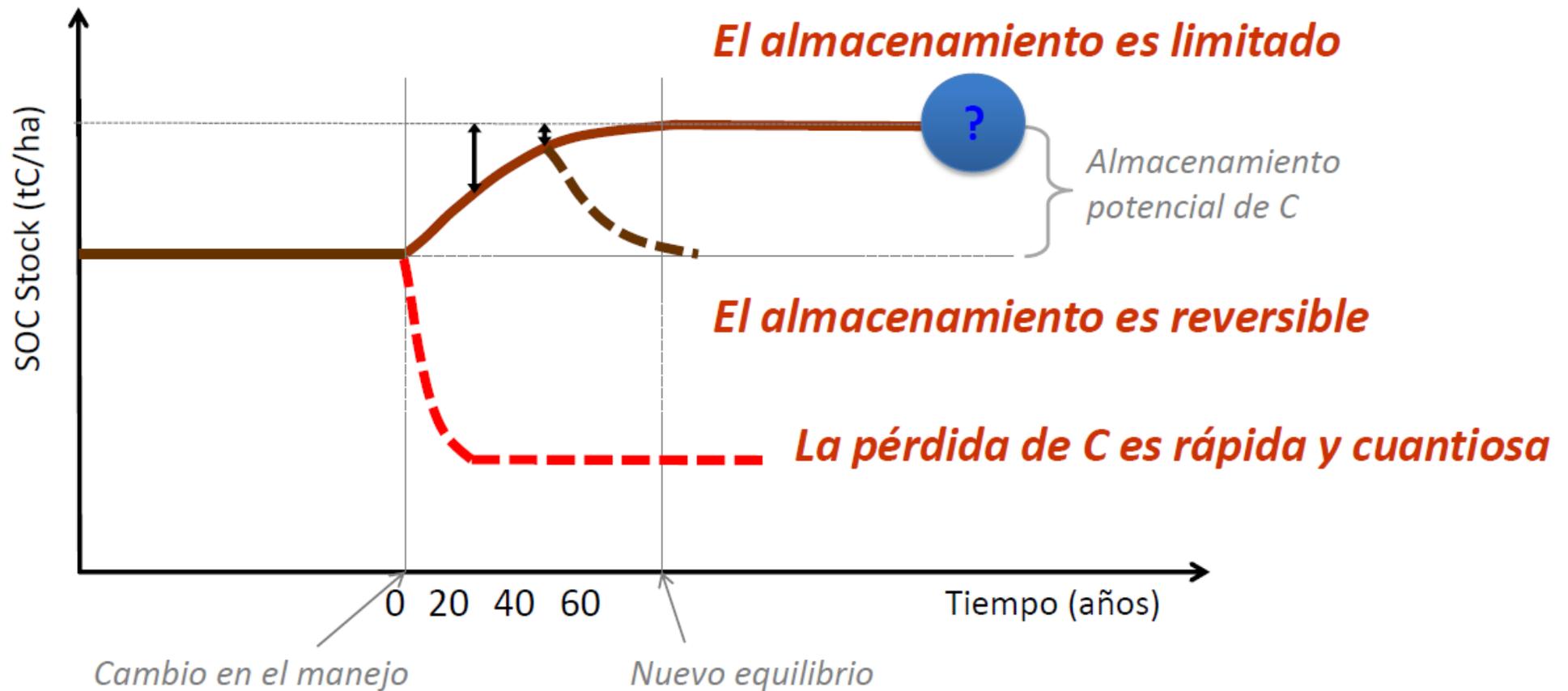
Fuente: Adaptado de Chenu *et al.* (2017)

ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO



Fuente: Balesdent *et al.* (2017)

ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EL SUELO



Lento almacenamiento de C

Fuente: Adaptado de Chenu *et al.* (2017)

ENTRADAS

Uso del suelo



Sistema

Agroforestería

- Ingreso de C al suelo: $2,2 \pm 1,2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$
- Fuente: Kim *et al.* (2016)

Cultivo intercalado

- Ingreso de C al suelo: $1,6 \pm 1,0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$
- Fuente: Kim *et al.* (2016)

ENTRADAS

Manejo agronómico



Sistema

Cultivo de cobertura

- Ingreso de C al suelo: $0,29 \pm 0,16 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$
- Fuente: Juste *et al.* (2012)

Compost

- Ingreso de C al suelo: $41 \pm 22\%$ del C aplicado se convierte en C del suelo
- Fuente: Medina *et al.* (2015)



ENTRADAS

Sistema

Manejo agronómico



Después de 11 años	Pradera ballica-trébol	Silvopastoreo	Plantación Abeto Douglas
	(Mg C ha ⁻¹)		
C sobre el suelo	1.0 c	13.4 a	9.1 b
C orgánico del suelo (0-15 cm)	41.0 a	37.2 ab	34.1 b
C orgánico del suelo (15-45 cm)	61.5 a	58.6 a	57.8 a
Ecosistema C	103.5 b	109.3 a	101.1 b
Ecosistema N	8.9 a	8.2 ab	7.7 b

Fuente: Sharrow & Bmail (2004)



SALIDAS

Manejo agronómico



Sistema

Cero labranza

- Potencial de almacenamiento de C reevaluado recientemente: 0-0,2 t C ha⁻¹ año⁻¹
- Fuente: Virto *et al.* (2012), Dimassi *et al.* (2014)

Cero labranza + cultivos de cobertura

- Un gran potencial: +0,5 t C ha⁻¹ año⁻¹
- Fuente: Autret *et al.* (2016)

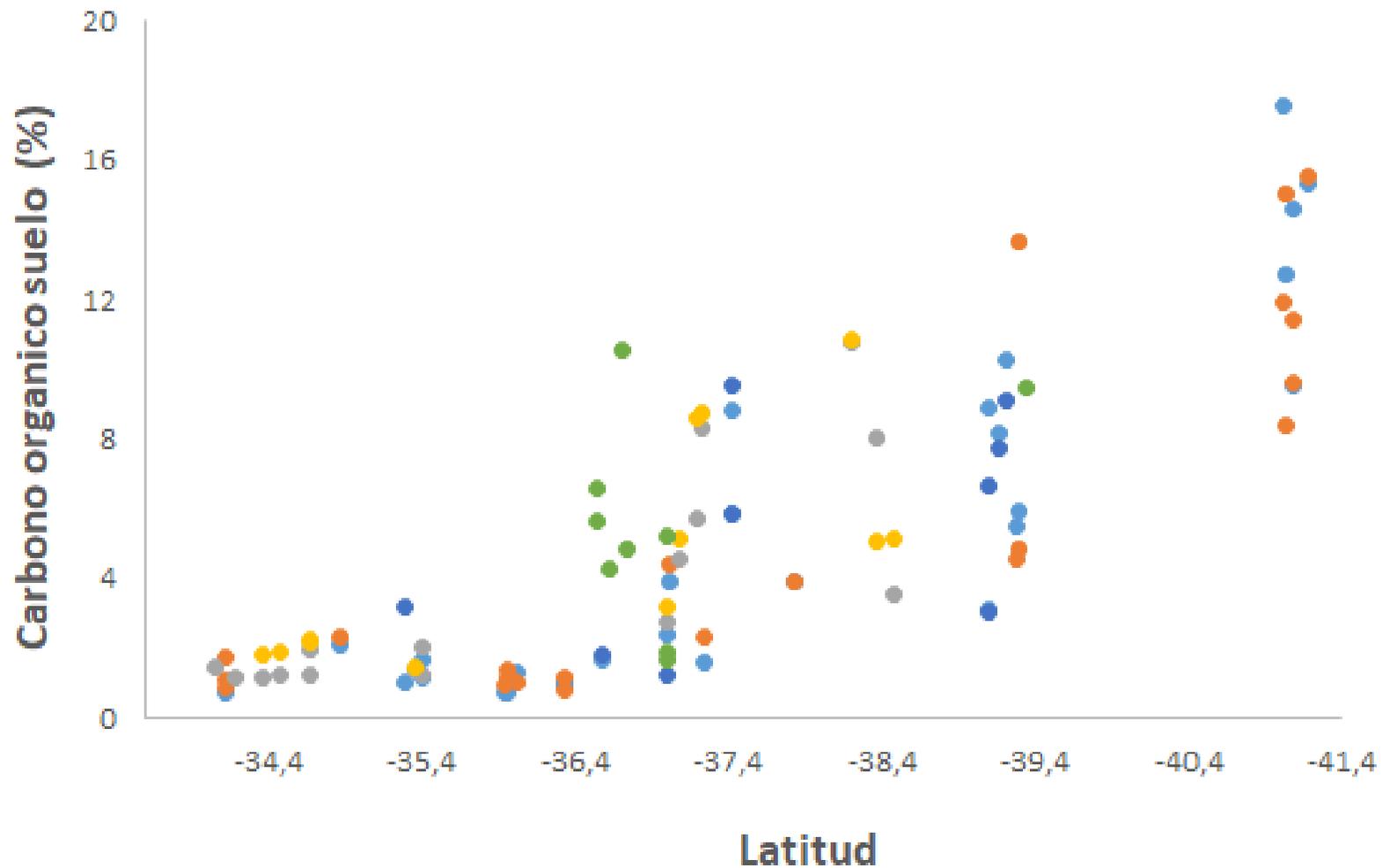
ESTRATEGIAS ASOCIATIVAS

- **Redes nacionales: “Una Nama agrícola para Chile, mediante el manejo sustentable de los suelos” INIA – U. de Concepción**
 - Identificó usos del suelo y prácticas de manejo que los agricultores pueden aplicar para aumentar el almacenamiento de carbono orgánico del suelo y mejorar la producción en un escenario de clima cambiante.
- **Redes internacionales: Iniciativa 4 x 1000**



- Propone mejorar el contenido en materia orgánica (COS) con la implementación de prácticas agrícolas (mecánicas, culturales o biológicas) adaptadas a las situaciones locales tanto ambiental como social, con el fin de mejorar la seguridad alimentaria, propiciar la adaptación al cambio climático y contribuir a su atenuación.

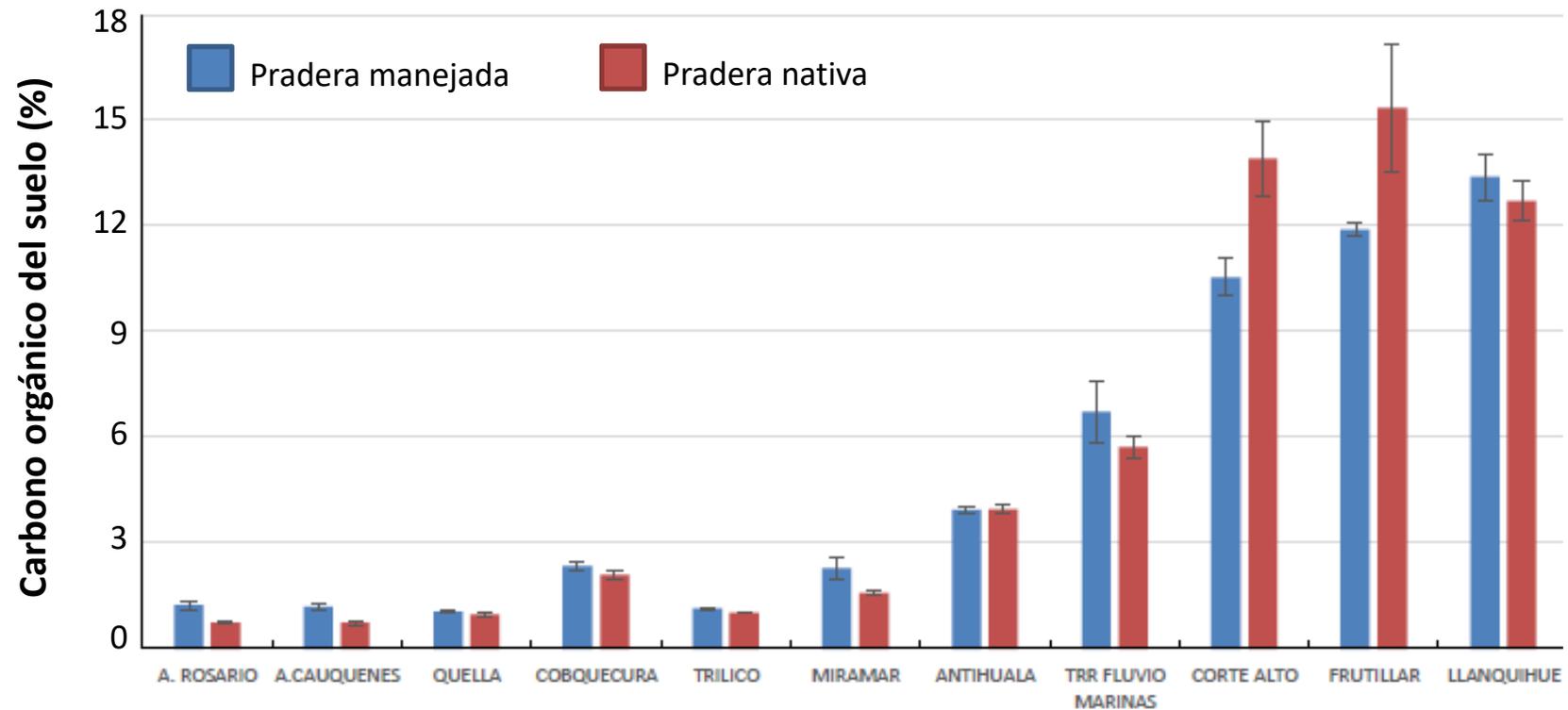
CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO



- Pradera Natural
- Pradera Mejorada
- Incorporacion Cereal
- Quema Cereal
- Cero Labranza
- Compost

Fuente: Panichini y Ovalle (2017)

CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO EN PRADERAS



Fuente: Panichini y Ovalle (2017)



La forma más eficiente de capturar carbono es con praderas permanentes

ZONA AGROECOLOGICA

MODELOS SEMI-INTENSIVOS (AÑOS)

ZONA CENTRAL RIEGO

	1	2	3	4	5	6	7n
	alfalfa	alfalfa	alfalfa	alfalfa	remolacha	trigo	maiz	alfalfa
	Tr. rosado	Tr. rosado	Tr. rosado	Tr. rosado	remolacha	trigo	maiz	Tr. rosado
	Tr. rosado	Tr. rosado	remolacha	trigo	Tr. rosado	Tr. rosado	remolacha	trigo
	Tr. rosado	Tr. rosado	maiz	trigo	Tr. rosado	Tr. rosado	maiz	trigo
	Tr. rosado	Tr. rosado	frejoles	trigo	Tr. rosado	Tr. rosado	frejoles	trigo

PRECORDILLERA (Centro)

	1	2	3	4	5	6	7n
	P. Natural	P. Natural	P. Natural	P. Natural	trigo	P. Natural	P. Natural	P. Natural
	Tr. Subt	Tr. Subt	Tr. Subt	Tr. Subt	trigo	Tr. Subt	Tr. Subt	Tr. Subt
	P. Natural	P. Natural	P. Natural	avena	trigo	P. Natural	P. Natural	P. Natural

PRECORDILLERA (Sur)

	1	2	3	4	5	6	7n
	P. Artif	P. Artif	P. Artif	P. Artif	Trigo	P. Artif	P. Artif	P. Artif
	P. Artif	P. Artif	P. Artif	Avena	Trigo	P. Artif	P. Artif	P. Artif
	⁽¹⁾ P. Artif	P. Artif	Avena	Raps/Leg.	Trigo	P. Artif	P. Artif	Avena

también, la rotación de cultivos que incluyen praderas



CO₂ atmosférico es almacenado como carbono orgánico en el suelo

Herramienta de mitigación del CC

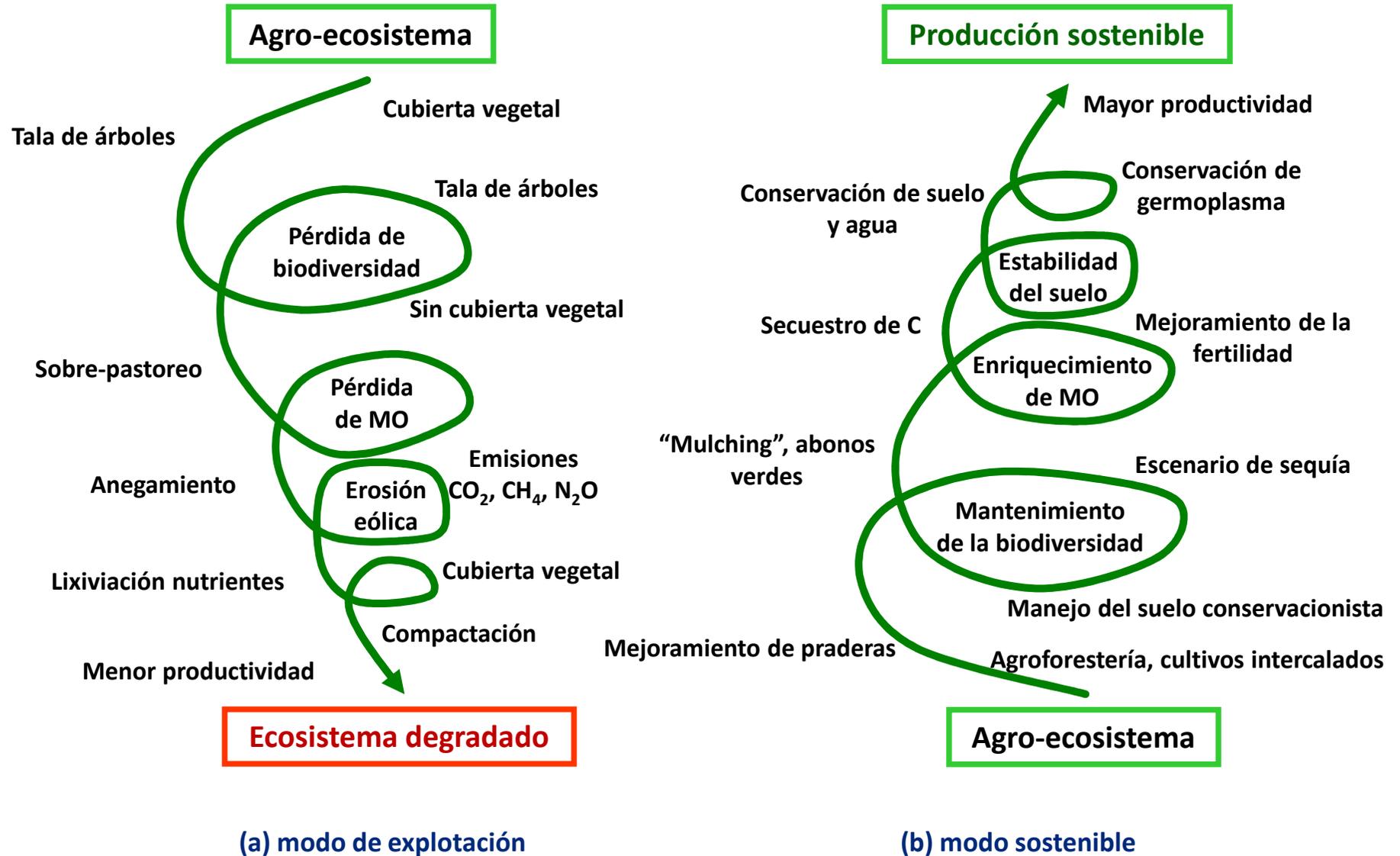


El mejoramiento de las praderas por una fertilización balanceada es una práctica de manejo



Secuestro de carbono

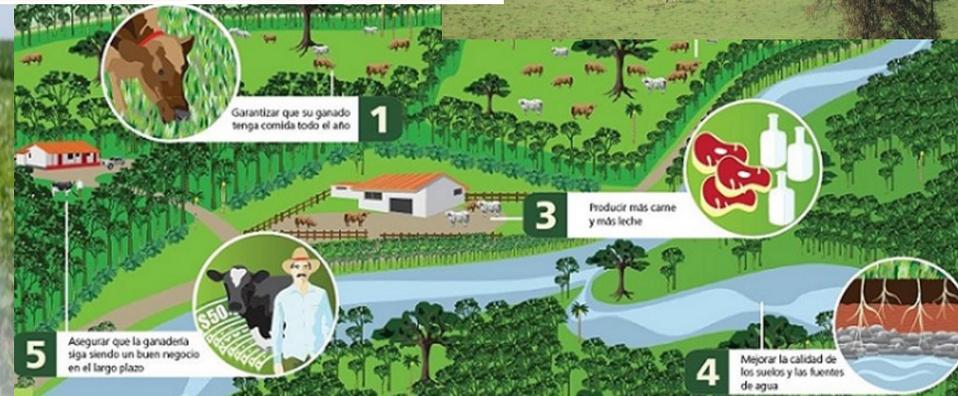
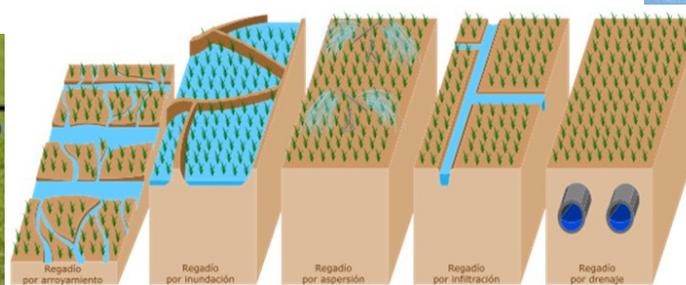
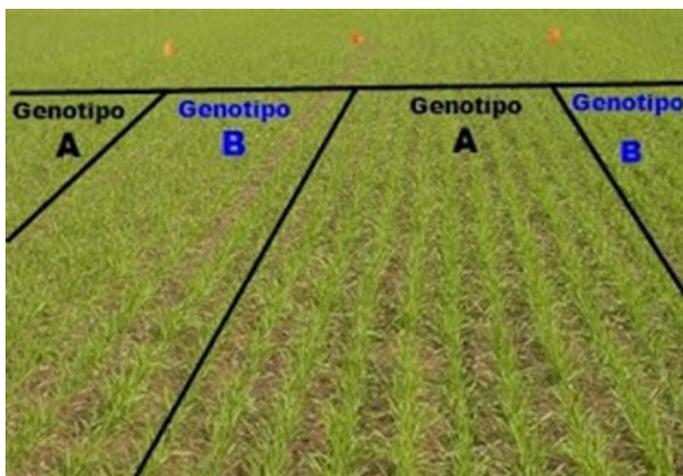
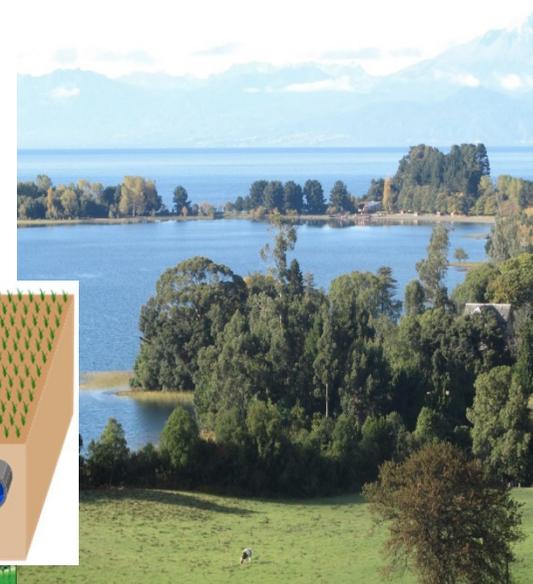
Manejo de suelo, agroecosistema ante el cambio climático



Fuente: Adaptado de Hillel y Rosenzweig (2011)

ESTRATEGIA ES PRODUCIR MÁS CULTIVOS Y PRADERAS

- ✓ Menos suelo.
- ✓ Por gota de agua.
- ✓ Por unidad de fertilizante y pesticidas aplicados.
- ✓ Por unidad de energía.
- ✓ Por unidad de emisión de carbono (C).

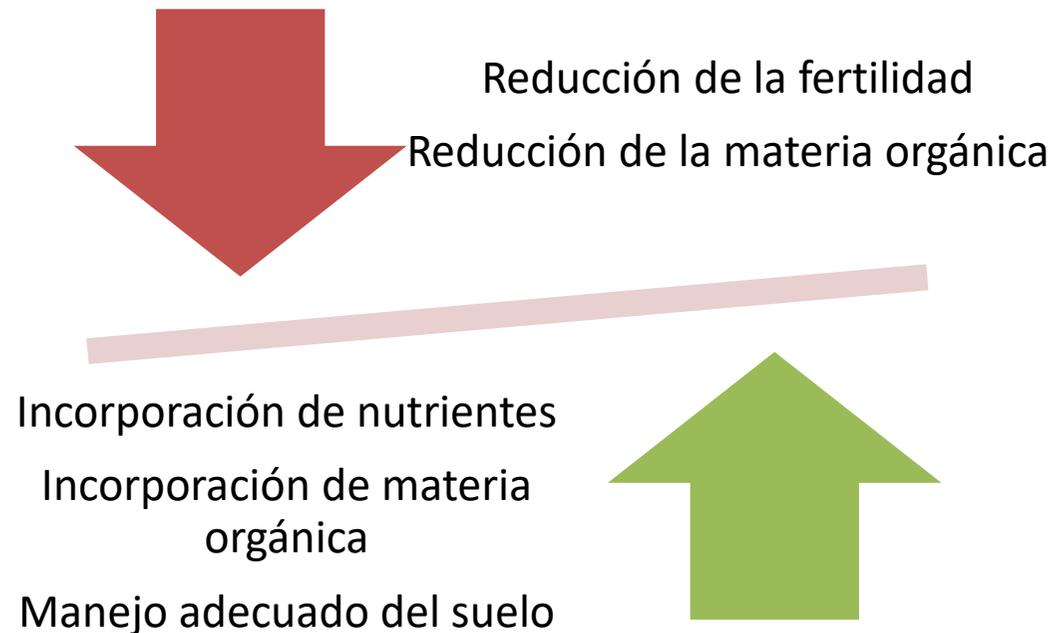


FERTILIZACIÓN

- ✓ Concepto más amplio: Nutrición.
- ✓ Necesario en el sector agropecuario productivo.

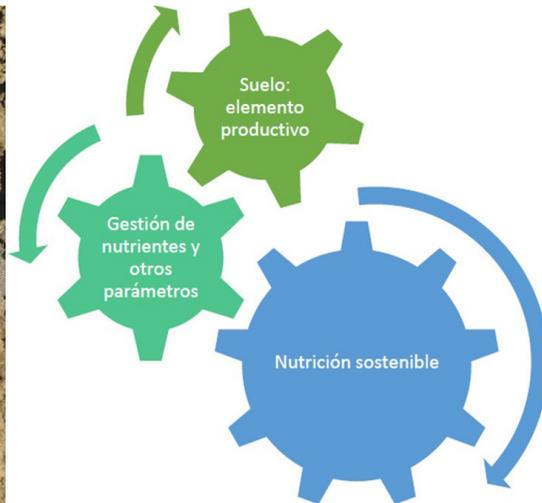
CONSECUENCIAS MEDIOAMBIENTALES

- ✓ Reducción del conten
- ✓ Emisiones (CO₂).
- ✓ Reducción de la fertili
- ✓ Eutrofización (P).
- ✓ Metales pesados.

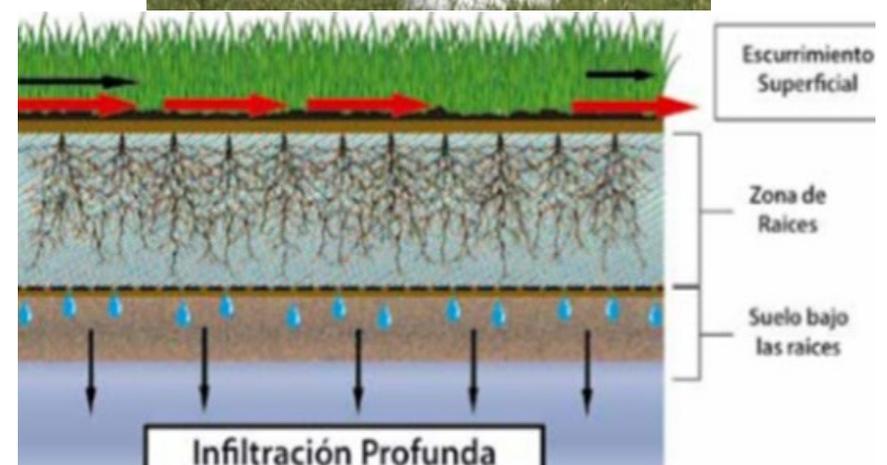


VÍAS DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN AGRARIA

- Mejorar la fertilidad de los suelos



- Mejorar la eficiencia en el uso de los recursos (agua)

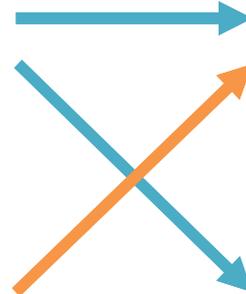


Fuente: López-Olivari (2014)

VÍAS DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN AGRARIA

- Mejorar la fertilidad de los suelos

- ✓ Sistemas de manejo del suelo (mínimo laboreo, cubiertas vegetales)



↑ Actividad biológica del suelo (bacterias, micorrizas, enzimas)

- ✓ Incorporación de enmiendas orgánicas

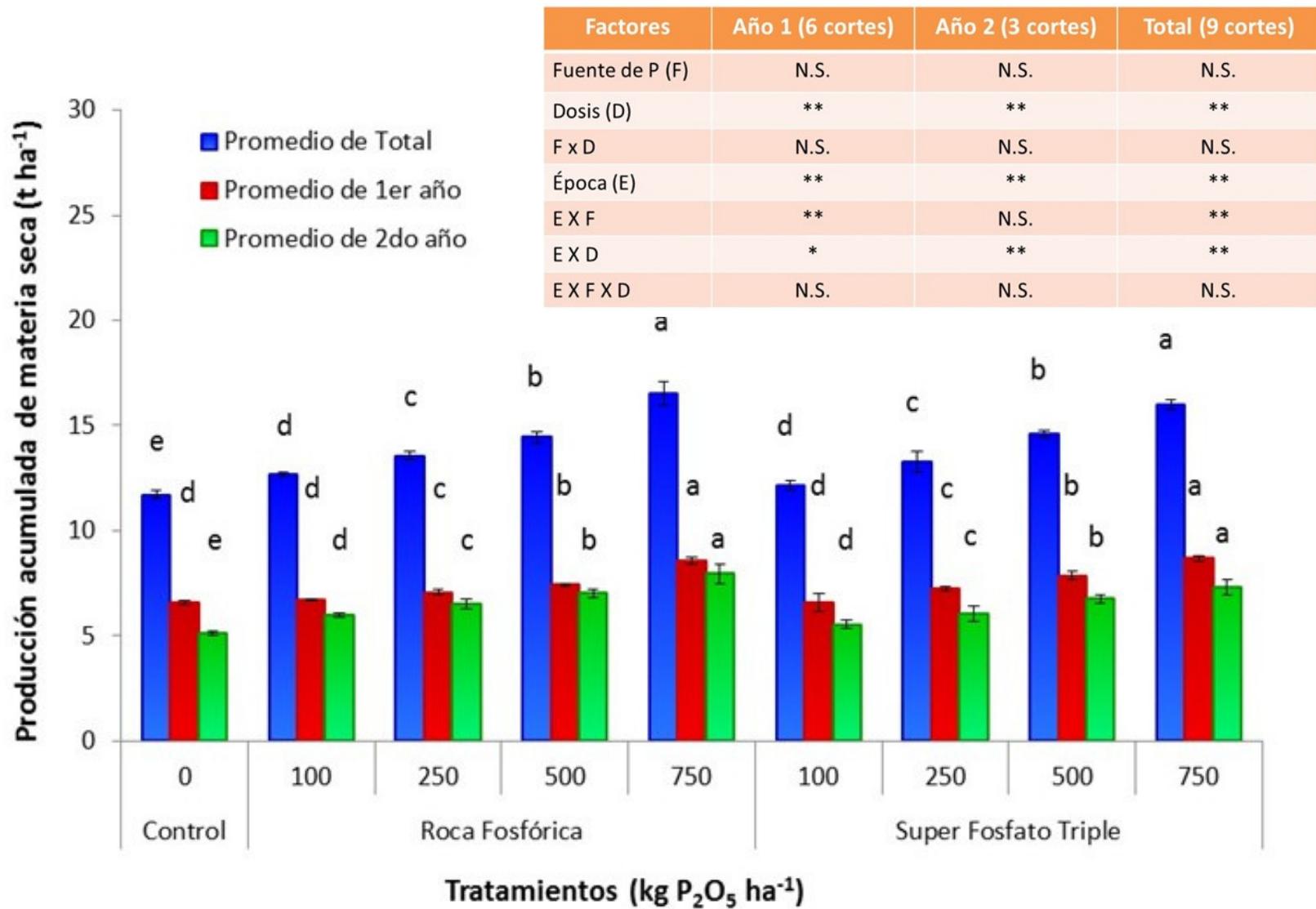


Mejora de los balances hídricos (infiltración – evaporación)

- ✓ Eficiencia en el uso de fertilizantes (P, K, S)



↓ Degradación (Suelo – contaminación de acuíferos)



Fuente: Vistoso *et al.* (2017)

**Efecto de la fertilización de corrección en pradera, sector Fresia.
Periodo: Septiembre 2013-Octubre 2015**



Efecto de la fertilización fosfatada de corrección sobre algunos parámetros del suelo al término del ensayo de campo. Fecha: 28/09/2015 (n=3).

Factores	pH agua	P Olsen	P Resina
Fuente de P (F)	N.S.	**	**
Dosis (D)	N.S.	**	**
F x D	N.S.	**	**

Tratamiento	pH Agua	P Olsen	P Resina
		(mg kg ⁻¹)	
Control	5,7 a	9 a	17 d
RF 100	5,8 a	10 c	19 d
RF 250	5,8 a	10 c	24 cd
RF 500	5,8 a	14 bc	29 cd
RF 750	5,8 a	15 bc	36 bc
SFT 100	5,8 a	11 c	22 cd
SFT 250	5,8 a	15 bc	29 cd
SFT 500	5,7 a	28 ab	44 ab
SFT 750	5,7 a	35 a	56 a

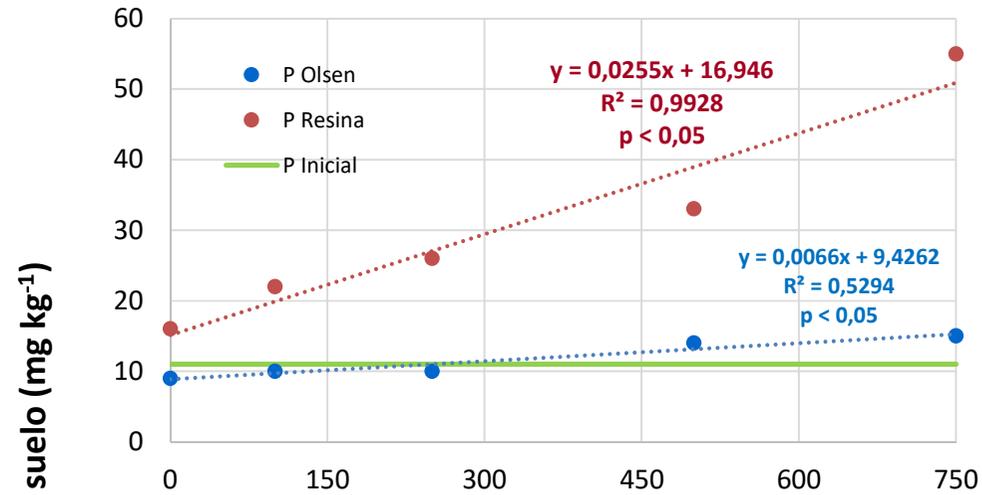
Fuente: Vistoso *et al.* (2017)

Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos, según prueba Tukey (p < 0,05).

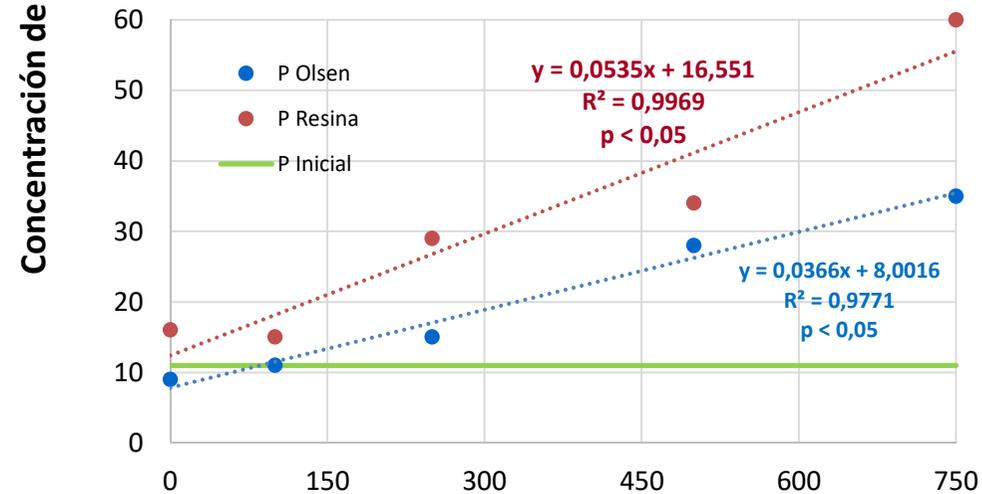




FFI



FFS

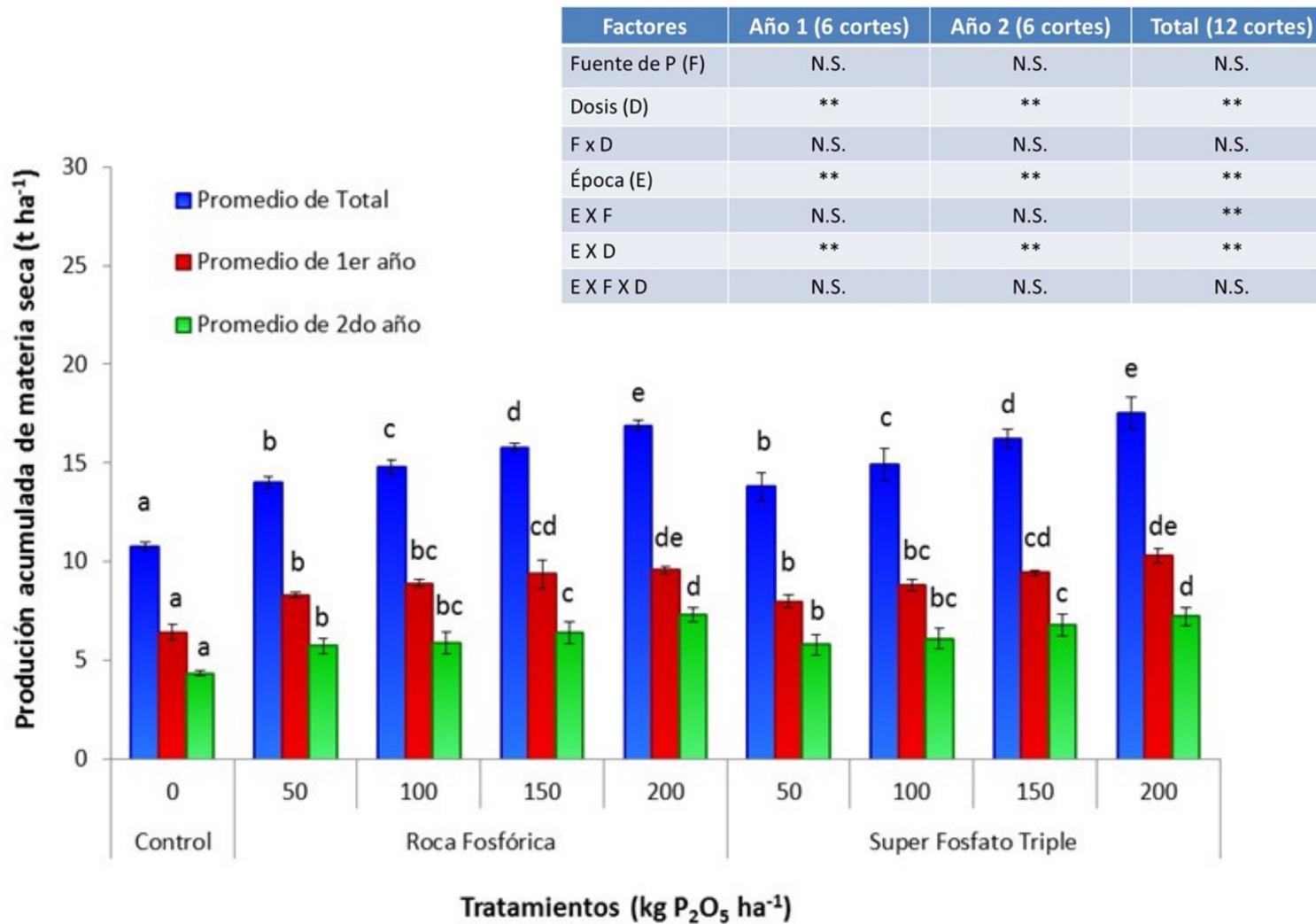


Dosis $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$

Fuente: Vistoso *et al.* (2017)

Efecto de la dosis de fósforo sobre la concentración de fósforo en Andisol.





Fuente: Vistoso *et al.* (2017)

Fuente: Vistoso *et al.* (2017)

**Efecto de la fertilización de mantención en pradera, sector Remehue.
 Periodo: Septiembre 2013-Octubre 2015**



Efecto de la fertilización fosfatada de mantención sobre algunos parámetros del suelo al término del ensayo de campo. Fecha: 28/09/2015 (n=3).

Factores	pH agua	P Olsen	P Resina
Fuente de P (F)	N.S.	N.S.	N.S.
Dosis (D)	N.S.	N.S.	**
F x D	N.S.	N.S.	N.S.

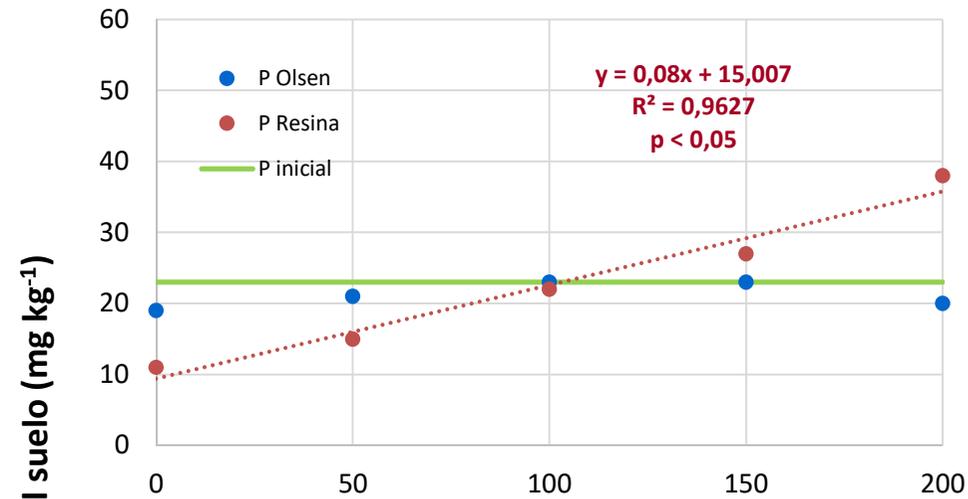
Tratamiento	pH Agua	P Olsen	P Resina
		(mg kg ⁻¹)	
Control	5,8 a	19 a	15 e
RF 50	5,8 a	21 a	17 de
RF 100	5,7 a	23 a	25 c
RF 150	5,8 a	23 a	27 bc
RF 200	5,6 a	20 a	31 ab
SFT 50	5,7 a	19 a	17 de
SFT 100	5,8 a	22 a	22 cd
SFT 150	5,8 a	22 a	25 bc
SFT 200	5,7 a	22 a	33 a

Fuente: Vistoso *et al.* (2017)

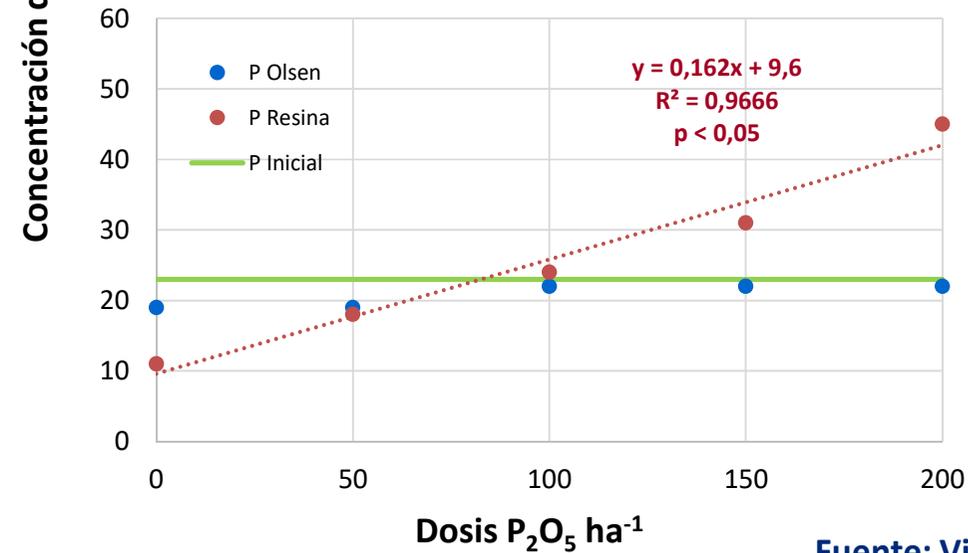
Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos, según prueba Tukey (p < 0,05).



FFI



FFS

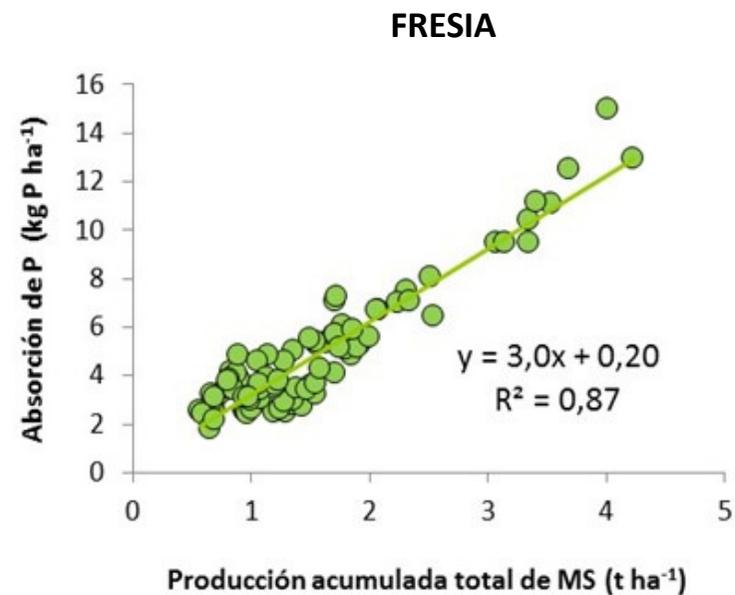
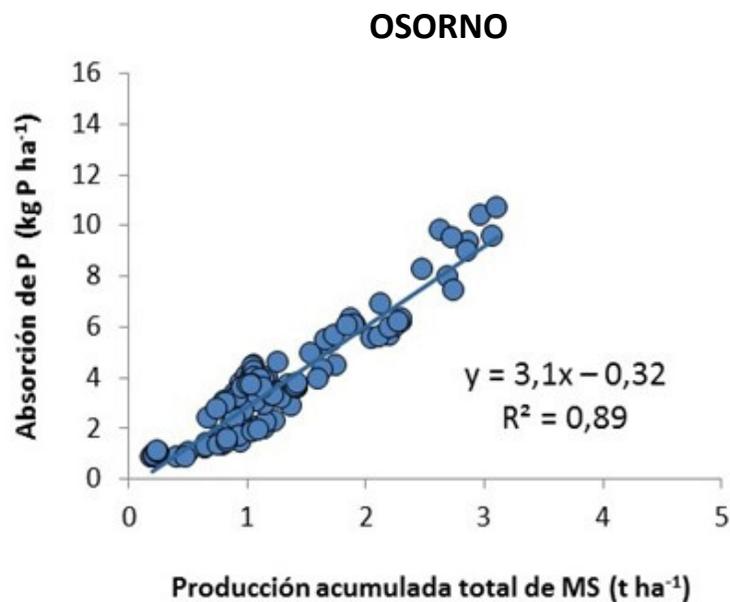


Fuente: Vistoso *et al.* (2017)

Efecto de la dosis de fósforo sobre la concentración de fósforo en Andisol.



RELACIÓN ENTRE LA PRODUCCIÓN DE MS Y LA ABSORCIÓN DE P EN PRADERAS



Factor de demanda de fósforo: 3,0 kg P por tonelada de MS producida

Fuente: Vistoso *et al.* (2017)



CRITERIOS DE USO DE FERTILIZANTES FOSFORADOS

Fertilizante fosforado soluble	Fertilizante fosforado insoluble
Se requiere rápida respuesta en la planta (ciclo vegetativo corto: cultivos anuales)	No se requiere rápida respuesta en la planta (ciclo vegetativo largo: praderas o frutales)
Se requiere incrementar rápidamente la concentración de P en el suelo	Se requiere incrementar lentamente la concentración de P en el suelo.
Suelos con pH agua > 5,8 y concentración baja de P (< 10 mg kg ⁻¹)	Suelos con pH agua < 5,8 y concentración media a alta de P (> 10 mg kg ⁻¹)
No existe riesgo de escurrimiento en el suelo	Si existe riesgo de escurrimiento en el suelo

Fuente: Adaptado de Undurraga (2000)





COMENTARIOS FINALES

- Los **cambios en el clima** en los últimos años han provocado **reducción en la productividad de las praderas; debido a la pérdida de fertilidad de los suelos y a la reducción de la disponibilidad hídrica.**
 - **Los suelos son un importante sumidero de carbono.**
 - La **captura de carbono de los suelos** a través de la incorporación de residuos de cosechas, **genera beneficios** como mejorar: la **estructura del suelo, la capacidad de retención de agua, su contenido de materia orgánica y de su fertilidad.**
 - Las **estrategias asociativas** (público - privadas) juegan un **rol fundamental en la reducción de las emisiones de CO₂** a través del secuestro de carbono sin poner en peligro la seguridad alimentaria.
- 



COMENTARIOS FINALES

- El aporte de nutrientes esenciales a las praderas debe ser en forma balanceada y amigable con el medio ambiente.



Uso eficiente y responsable de los fertilizantes reduce costos y pérdidas (escorrentía)

- Considerar la **variable medio ambiental y climática** en la toma de decisiones de manejo agrícola.
 - Son necesarias líneas de investigación en prácticas agronómicas que mejoren la eficiencia en el uso de recursos.
- 

Gracias por su atención !!!



evistoso@inia.cl