

Manejo de la materia orgânica del suelo apuntando sistemas de producción sostenibles bajo siembra directa – 2a Parte



**Dr. João Carlos de Moraes Sá
Professor Sênior - UEPG**

**Bolsista de Produtividade em
Pesquisa - CNPq**

**Presidente da Comissão
Técnico-Científica da
Federação Brasileira de Plantio
Direto na Palha**

**1^{er} Simpósio de Siembra Directa en el Chaco
Filadelfia, 06 de agosto de 2019**

Segunda etapa:



Aplicación de metodología científica de monitoreo para el entendimiento del potencial de producción de biomasa y las tasas de descomposición de los diversos cultivos



Potencial de producción de
biomasa

Producción de biomasa seca (P. Aérea, Raíces y Total) del rastrojo de **Girasol** en varios campos y campañas

Campaña	Propiedad	Biomasa seca (Kg/ha)			Cobertura sobre el suelo (%)
		P. Aérea	Raíces	MS Total	
Inv. 05	Tajibo	5380	968	6349 (± 1213)*	SD
Inv. 05	S. Rafael/Tchi	4809	866	5674 (± 1697)*	SD
Inv. 05	S. Rafael/Tchi	4468	804	5272 (± 531)*	SD
Inv. 05	La Estrella	5182	933	6114 (± 1489)*	SD
Inv. 06	Tajibo	4585	825	5411 (± 2032)*	39,20
Inv. 06	S. Judas	4567	822	5389 (± 51)*	44,23
Inv. 06	La Estrella	6843	1232	8074 (± 757)*	50,88
Inv. 07	Tacuarí	2199	396	2595 (± 298)*	SD
Inv. 07	S. Rafael	1982	357	2339 (± 278)*	93,23
Inv. 07	La Estrella	6093	1097	6093 (± 539)*	81,32
Promedio general		4611	830	5441	

Mínimo	Máximo
2339 (2061 a 2617)	8074 (7317 a 8831)

Producción de biomasa seca (P. Aérea, Raíces y Total) del rastrojo de **Maíz** en varios campos y campañas

Campaña	Propiedad	Biomasa seca (Kg/ha)			Cobertura sobre el suelo (%)
		P. Aérea	Raíces	MS Total	
Ver. 05-06	Agronaciente	6640	1527	8167 (± 775)*	
Ver. 05-06	Agronaciente	8720	2006	10726 (± 1981)*	
Ver. 05-06	S. Rafael/Tchi	8500	1955	10455 (± 2000)*	
Ver. 05-06	La Estrella	8416	1936	10352 (± 911)*	
Ver. 06-07	S. Rafael	5013	1153	6137 (± 360)*	
Ver. 06-07	La Estrella	5694	1310	7003 (± 1816)*	95,32
Ver. 06-07	La Estrella	7172	1650	8822 (± 2038)*	95,45
Promedio general		7165	1648	8813	

Mínimo	Máximo
6137 (5777 a 6496)	10726 (8745 a 12707)

Producción de biomasa seca (P. Aérea, Raíces y Total) del rastrojo de **Sorgo (DP y Fj) en varios campos y campañas**

Campaña	Propiedad	Biomasa seca (Kg/ha)			Cobertura sobre el suelo (%)
		P. Aérea	Raíces	MS Total	
Inv. 05	Tajibo	7809	2187	9996 (± 494)*	
Inv. 05	Europa	13220	3702	16922 (± 1585)*	
Inv. 05	S. Judas	8333	2333	10667 (± 2081)*	89,0
Inv. 05	S. Judas	9167	2567	11733 (± 1044)*	91,0
Inv. 05	S. Rafael/Ttaí	9502	2661	12163 (± 1616)*	
Inv. 06	Europa	3574	1001	4574 (± 1218)*	83,5
Inv. 05	Cantares	10130	3039	13169 (± 2089)*	89,3
Inv. 06	La Estrella	7372	2212	9583 (± 548)*	87,4
Promedio general		8638	2463	11101	

Mínimo	Máximo
4574 (3356 a 5792)	13169 (11080 a 15258)

Producción de biomasa seca (P. Aérea, Raíces y Total) del rastrojo de **Sorgo Granífero en varios campos y campañas**

Campaña	Propiedad	Biomasa seca (Kg/ha)			Cobertura sobre el suelo (%)
		P. Aérea	Raíces	MS Total	
Inv. 05	Tacuarí	6811	1907	8718 (± 71)*	SD
Inv. 05	Tajibo	7079	1982	9061 (± 1800)*	SD
Inv. 05	Agronaciente	11972	3352	15325 (± 2122)*	SD
Inv. 05	Agronaciente	6836	1914	8750 (± 813)*	SD
Inv. 05	Agronaciente	7698	2155	9853 (± 2630)*	39,20
Inv. 05	Europa	8745	2449	11193 (± 851)*	44,23
Inv. 05	S. Judas	4646	1301	5947 (± 1552)*	50,88
Inv. 05	S. Rafael	9533	2669	12202 (± 3080)*	SD
Inv. 05	La Estrella	12340	3455	15795 (± 2648)*	93,23
Inv. 06	Tacuarí	5769	1615	7385 (± 1696)*	89,8
Promedio general		8143	2280	10423	

Mínimo	Máximo
5947 (4395 a 7499)	15795 (13147 a 18443)

Producción de biomasa seca (P. Aérea, Raíces y Total) del rastrojo de **Soya** en varios campos y campañas

Campaña	Propiedad	Biomasa seca (Kg/ha)			Cobertura sobre el suelo (%)
		P. Aérea	Raíces	MS Total	
Ver. 06-07	Agronaciente	4341	868	5210 (± 482)*	95,40
Ver. 06-07	Agronaciente	5085	1017	6103 (± 199)*	93,93
Ver. 06-07	Europa	5749	1150	6899 (± 273)*	89,64
Ver. 06-07	S. Judas	5390	1078	6468 (± 1496)*	94,19
Ver. 06-07	S. Rafael	7239	1448	8686 (± 304)*	90,18
Ver. 06-07	S. Rafael/Tchi	4467	893	5361 (± 307)*	84,77
Ver. 06-07	La Estrella	6064	1213	7277 (± 642)*	91,71
Ver. 06-07	La Estrella	4766	953	5719 (± 383)*	96,34
Promedio general		5388	1078	6465	

Mínimo	Máximo
5210 (4728 a 5692)	8686 (8382 a 8990)

Producción de biomasa seca (P. Aérea, Raíces y Total) del rastrojo de **Trigo** en varios campos y campañas

Campaña	Propiedad	Biomasa seca (Kg/ha)			Cobertura sobre el suelo (%)
		P. Aérea	Raíces	MS Total	
Inv. 05	Tacuarí	2478	372	2850 (± 505)*	
Inv. 05	Agronaciente	4602	690	5293 (± 448)*	
Inv. 05	Europa	2855	428	3283	
Inv. 06	Agronaciente	3405	511	3916 (± 651)*	
Inv. 06	Europa	1258	189	1447 (± 368)*	
Inv. 06	La Estrella	3019	453	3472 (± 796)*	95,32
Inv. 07	La Estrella	2678	402	3080 (± 554)*	95,45
Promedio general		2899	435	3334	

Mínimo	Máximo
1447 (1079 a 1815)	5293 (4845 a 5741)

Producción de biomasa seca (P. Aérea, Raíces y Total) del rastrojo de **Brachiaria** en varios campos y campañas

Campaña	Propiedad	Biomasa seca (Kg/ha)			Cobertura sobre el suelo (%)
		P. Aérea	Raíces	MS Total	
V/I-05	Tajibo	14282	5427	19710 (± 4878)*	
V-04/2años	San Judas	14100	5358	19458 (± 3965)*	
V/I-07	Europa	11240	4271	15511	
I/I-06	Tacuarí	2707	1029	3735 (± 544)*	85,48
I/I-08	San Judas	1324	503	1827 (± 476)*	
I/I-08	San Judas	2180	828	3008 (± 519)*	95,32
Promedio general		7639	2903	10542	

Mínimo	Máximo
1827 (1351 a 2303)	19710 (14832 a 24588)



Brachiaria ruziziensis



Raíces de Brachiaria Piatã







Girasol + Brachiaria



**Brachiaria
Brizantha**













A photograph showing several green corn plants growing in a field. The ground is covered with a thick layer of dry, yellowish-brown straw or crop residue. A red rectangular box highlights the text "Tasas de descomposición".

Tasas de descomposición

18 8 2006



**El desafío en la región tropical
es la gestión de la tasa de
descomposición**

18 8 2006

Estrella – Lote 28 (18/07/2005)



Soya/Sorgo/Soya/Frejol/Maiz/Girasol (\cong 95 % cobertura)

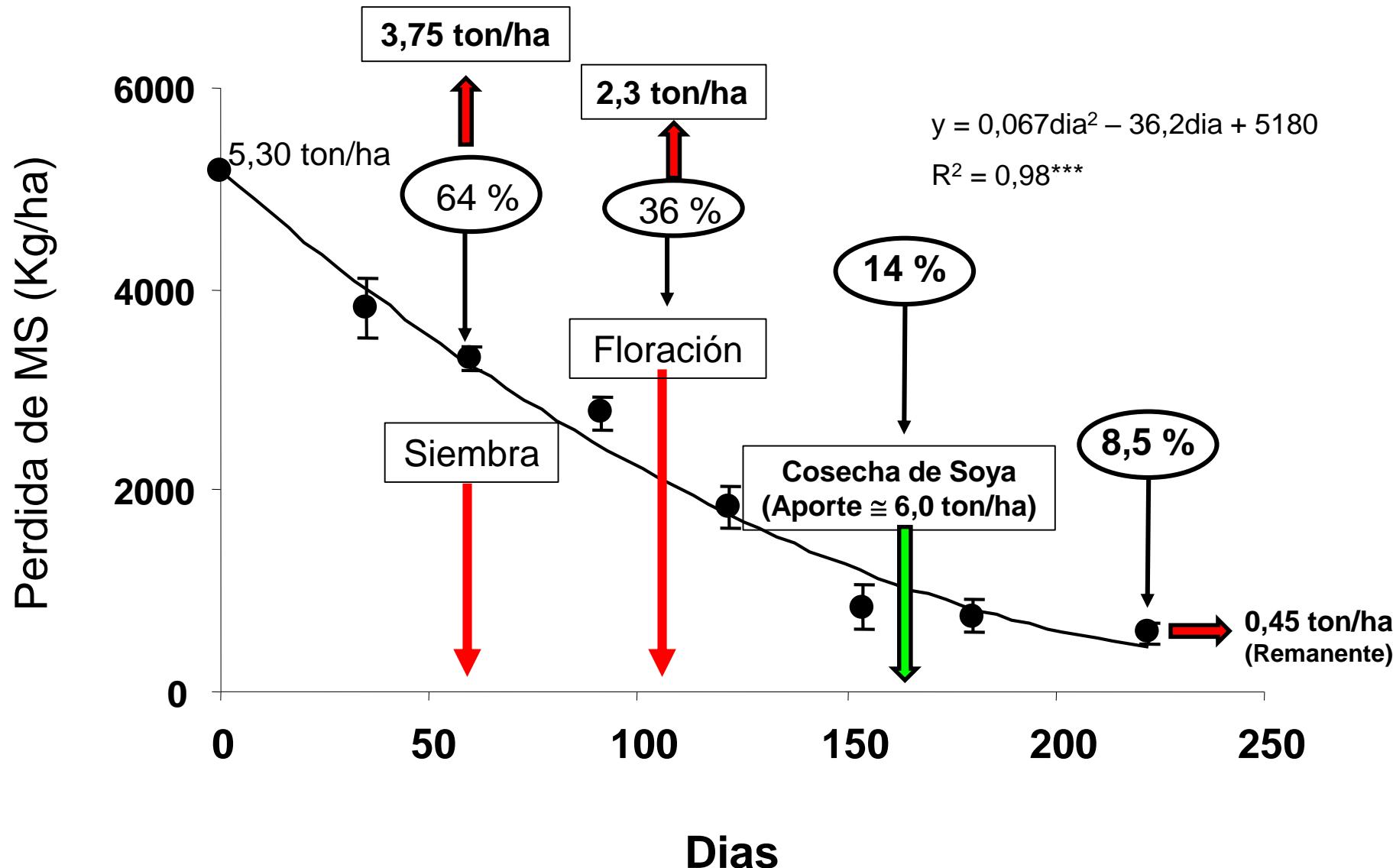
Estrella – Lote 28 (18/11/2005)

En 120 días pérdida de 45% ($2,6\% \text{ dia}^{-1}$)

Soya/Sorgo/Soya/Frejol/Maiz/Girasol ($\cong 55\% \text{ cobertura}$)

Tasa de descomposición de Girasol M-734

LA ESTRELLA - Lote 1

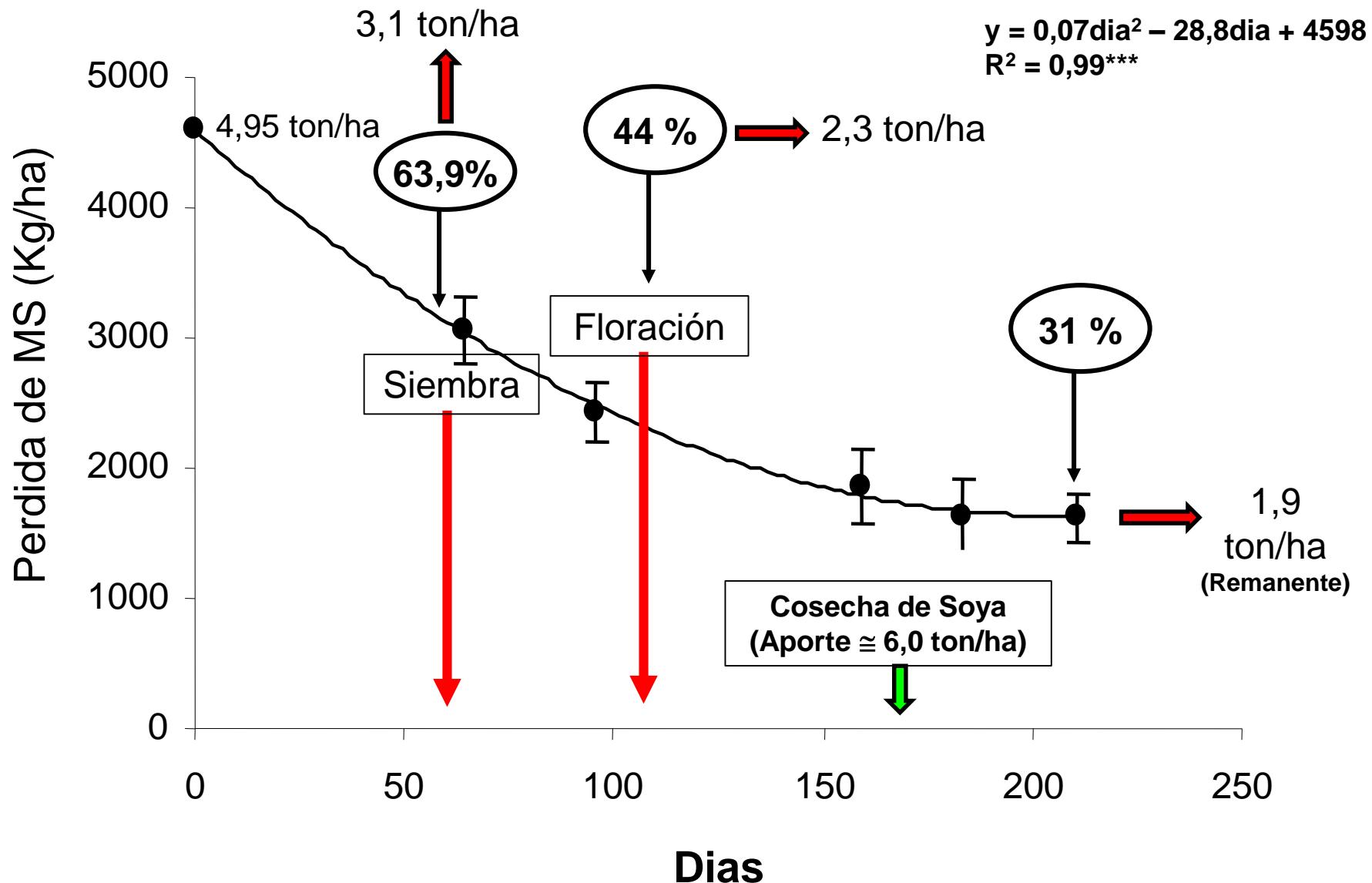


Rastrojos de Trigo cosechado



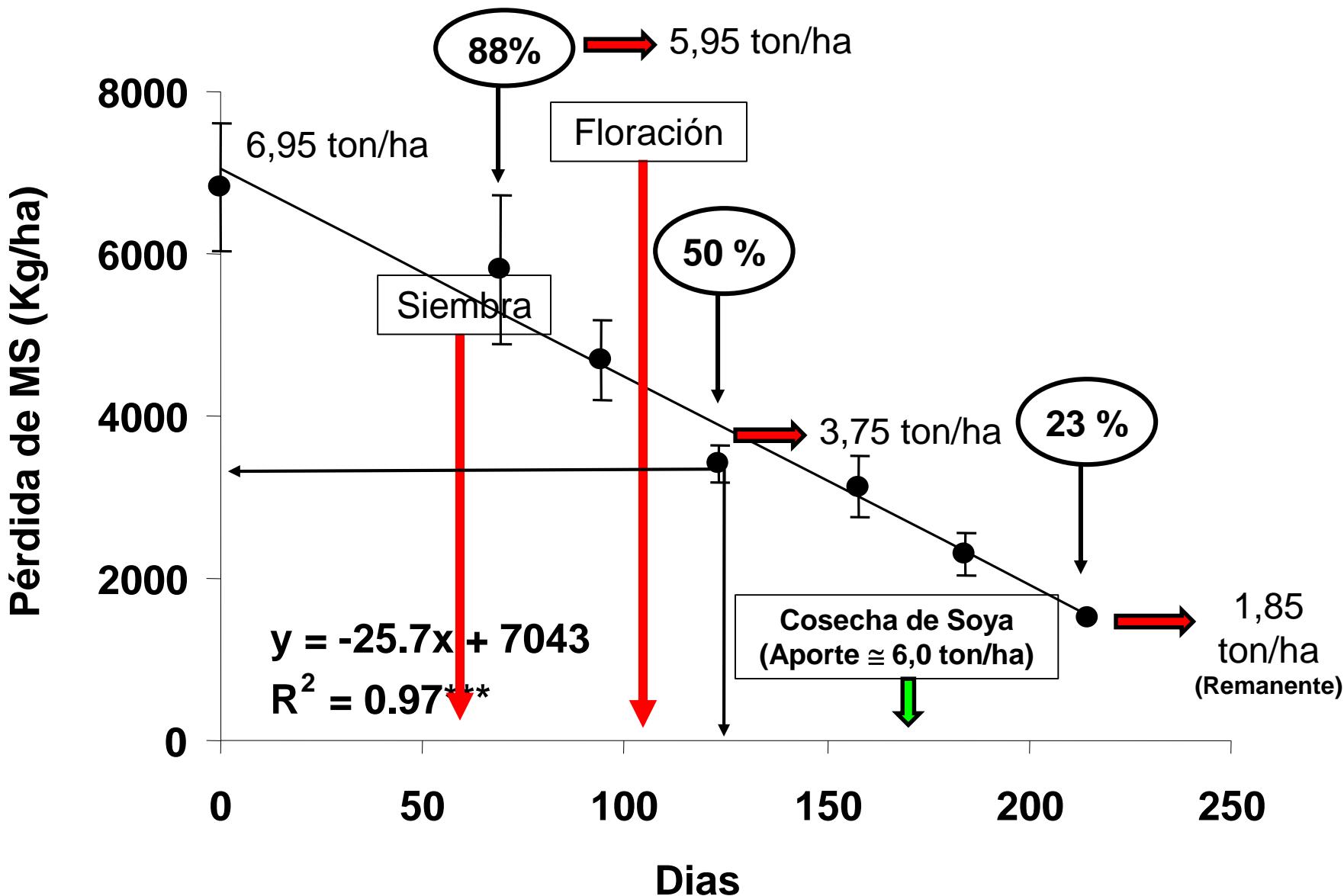
Tasa de descomposición de Trigo

AGRONACIENTE - Lote 17 B Ch.L. (San Juan)



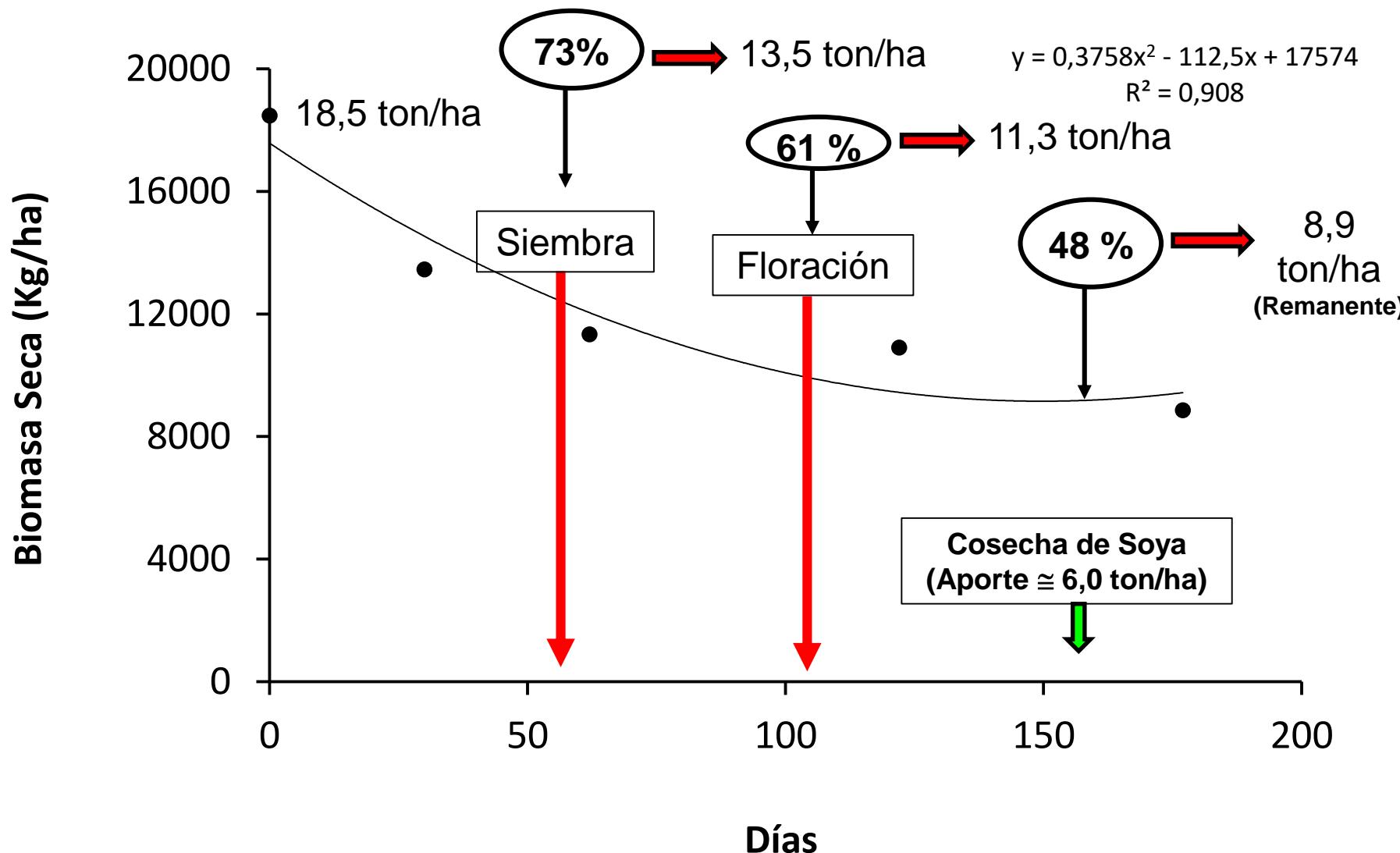
Tasa de descomposición de Sorgo DK-73

Hacienda TACUARÍ - Lote 37

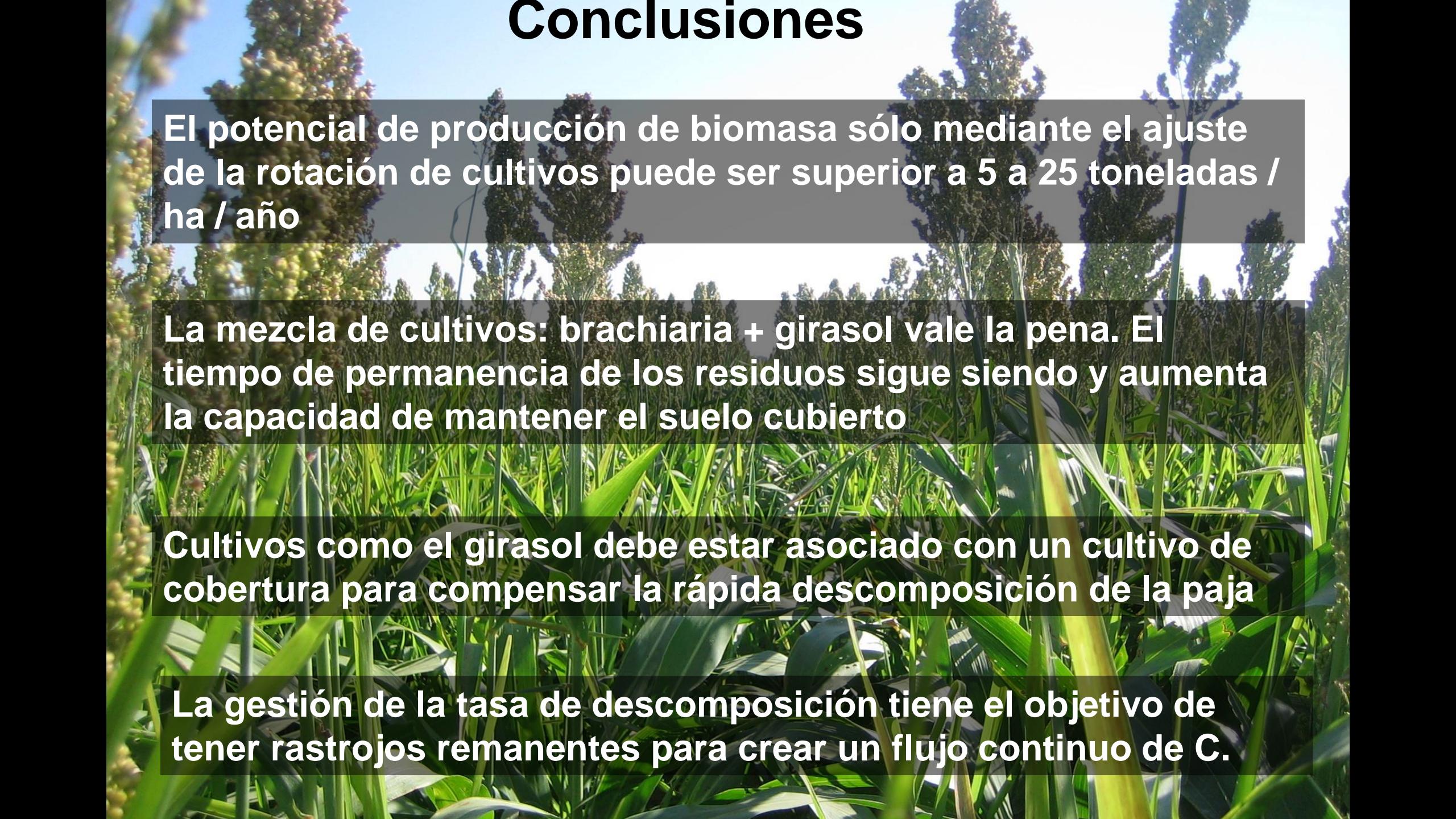


Tasa de descomposición de Brachiaria (Lote 9)

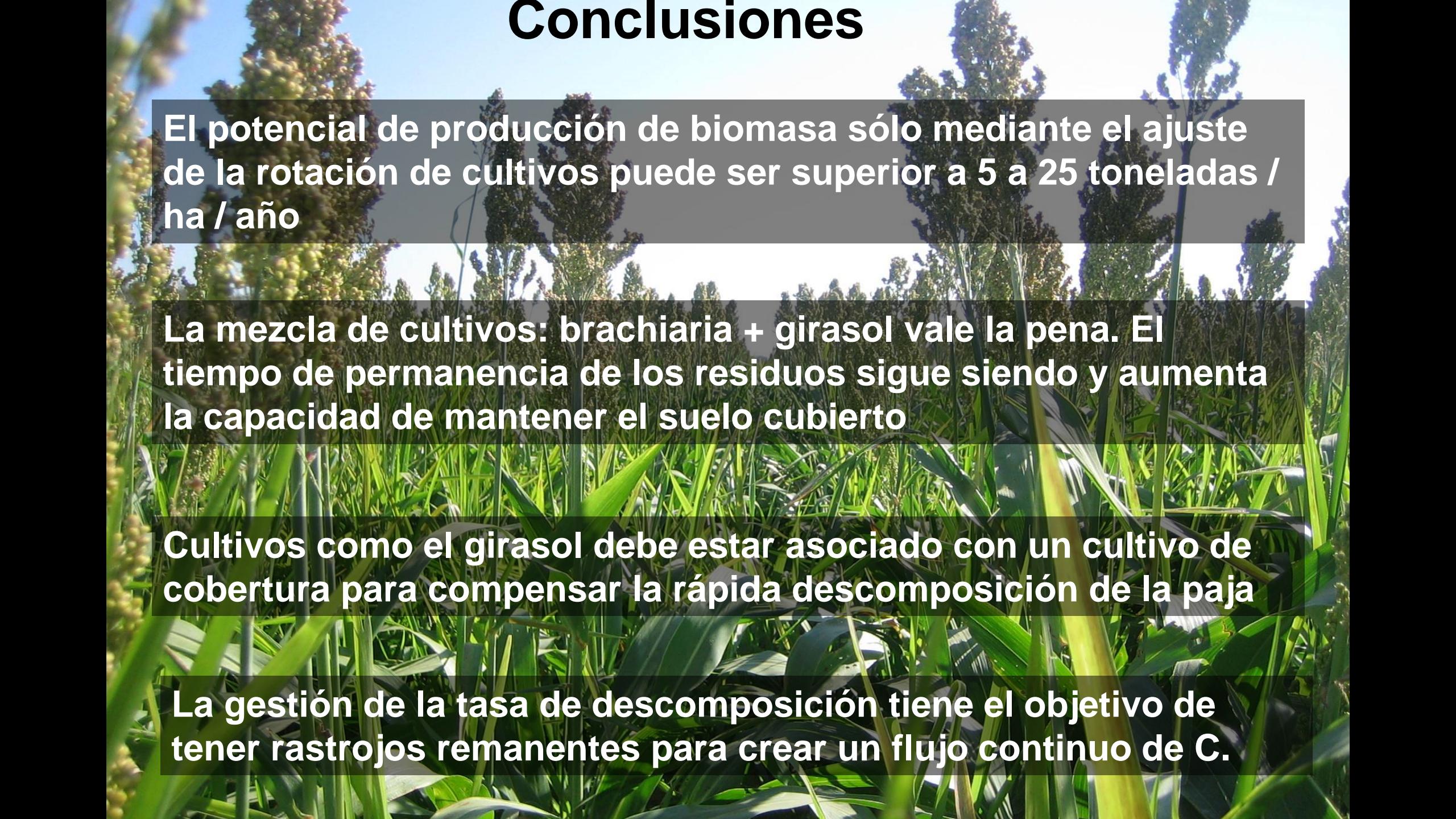
LA ESTRELLA



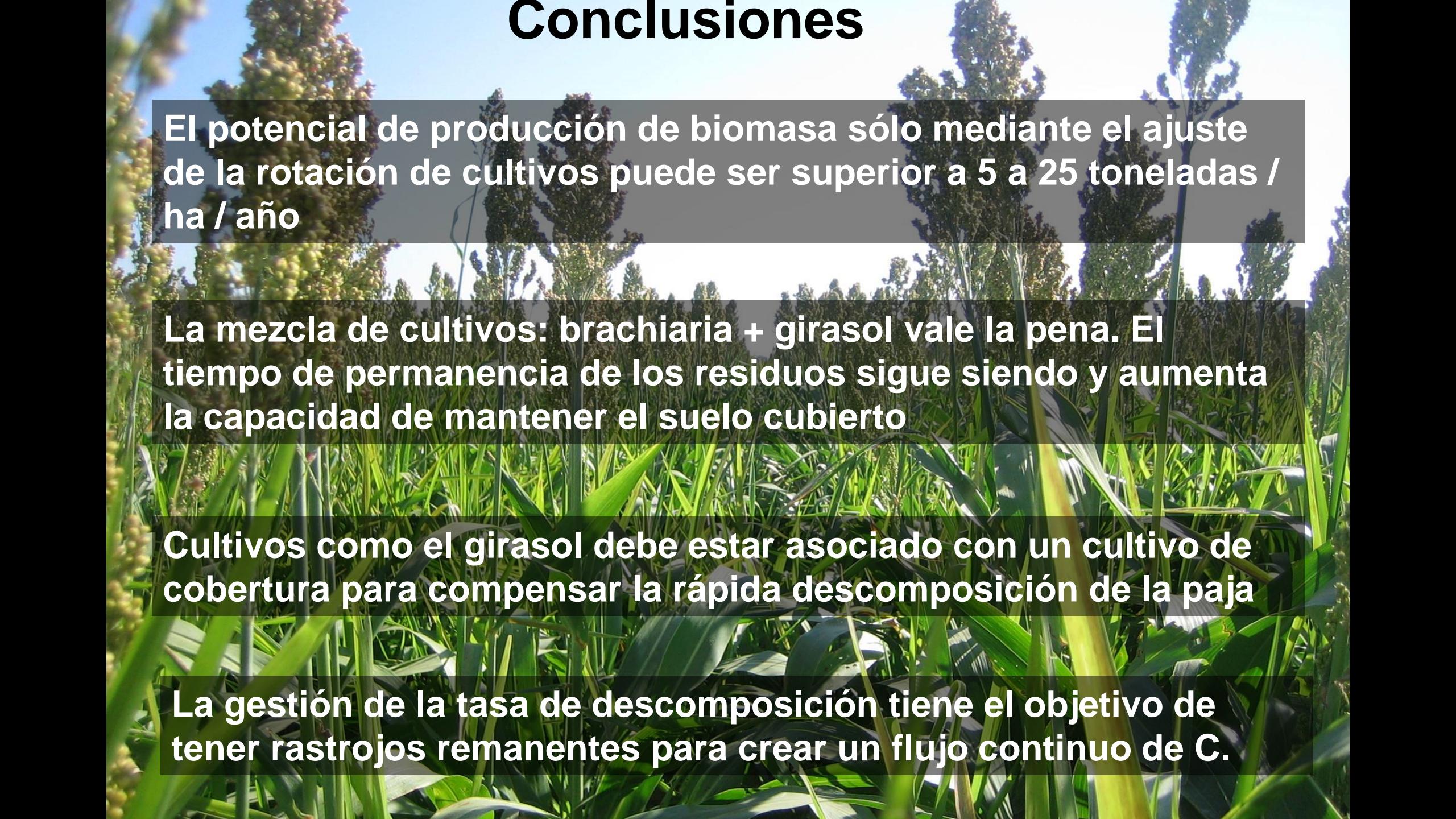
Conclusiones



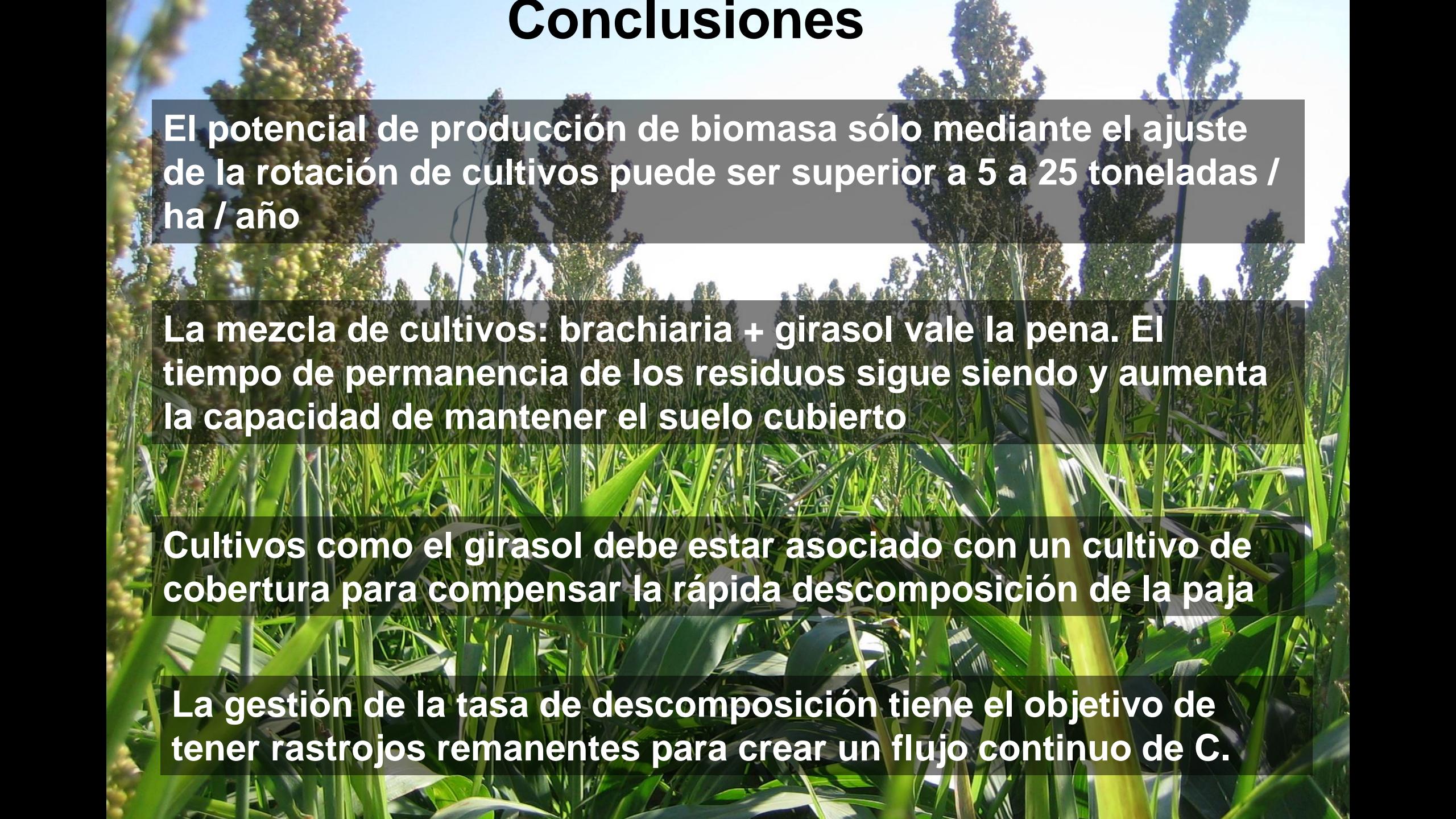
El potencial de producción de biomasa sólo mediante el ajuste de la rotación de cultivos puede ser superior a 5 a 25 toneladas / ha / año



La mezcla de cultivos: brachiaria + girasol vale la pena. El tiempo de permanencia de los residuos sigue siendo y aumenta la capacidad de mantener el suelo cubierto



Cultivos como el girasol debe estar asociado con un cultivo de cobertura para compensar la rápida descomposición de la paja



La gestión de la tasa de descomposición tiene el objetivo de tener rastrojos remanentes para crear un flujo continuo de C.

Conclusiones

Sin embargo, el creciente uso de cultivos de cobertura se cerrará la ventana que existe entre la cosecha y la siembra y permite mayor actividad en el suelo y garantiza una mayor estabilidad para los cultivos.

La variación en las tasas de descomposición está relacionado con el clima y el suelo.

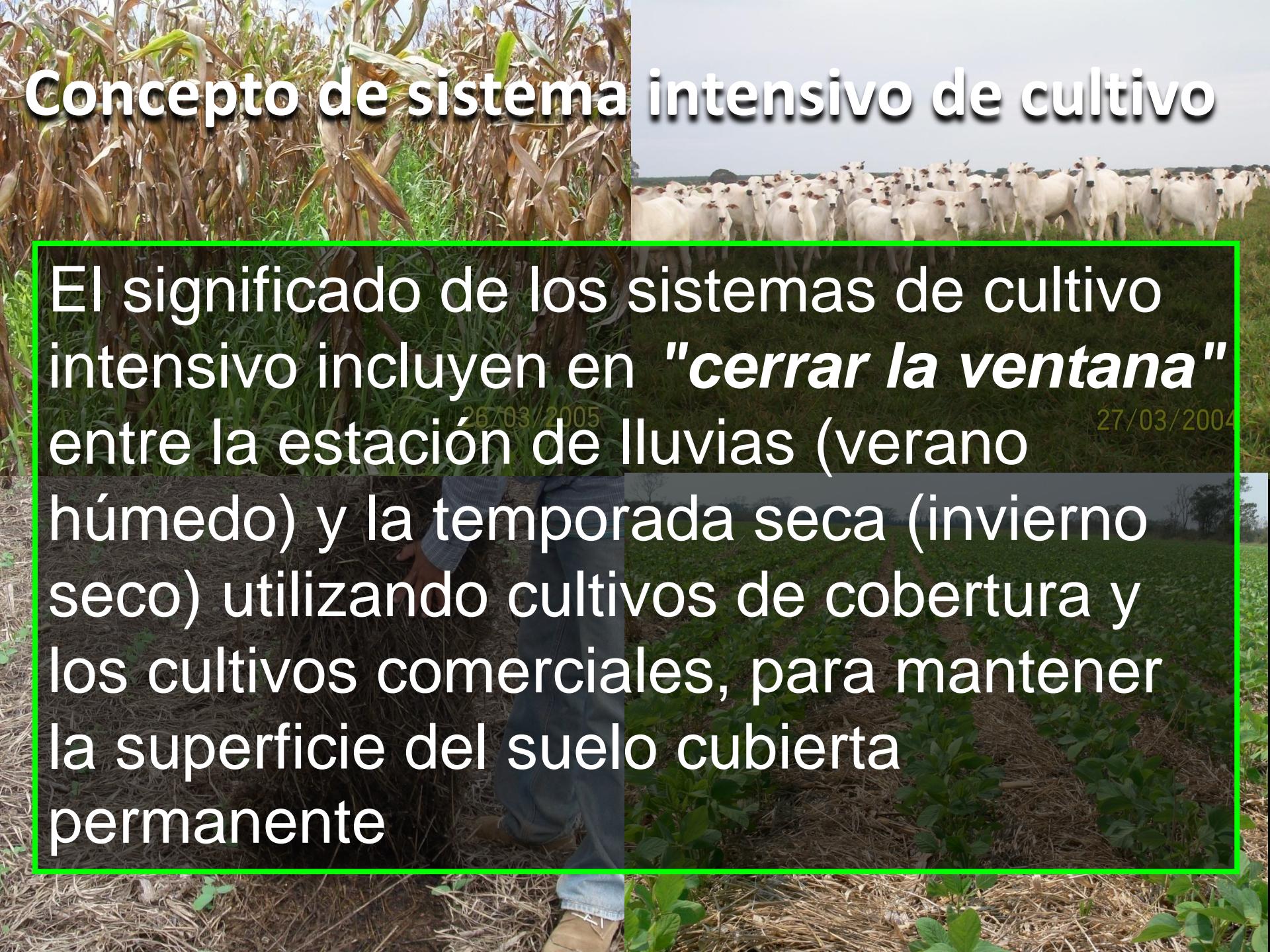
Tercera etapa

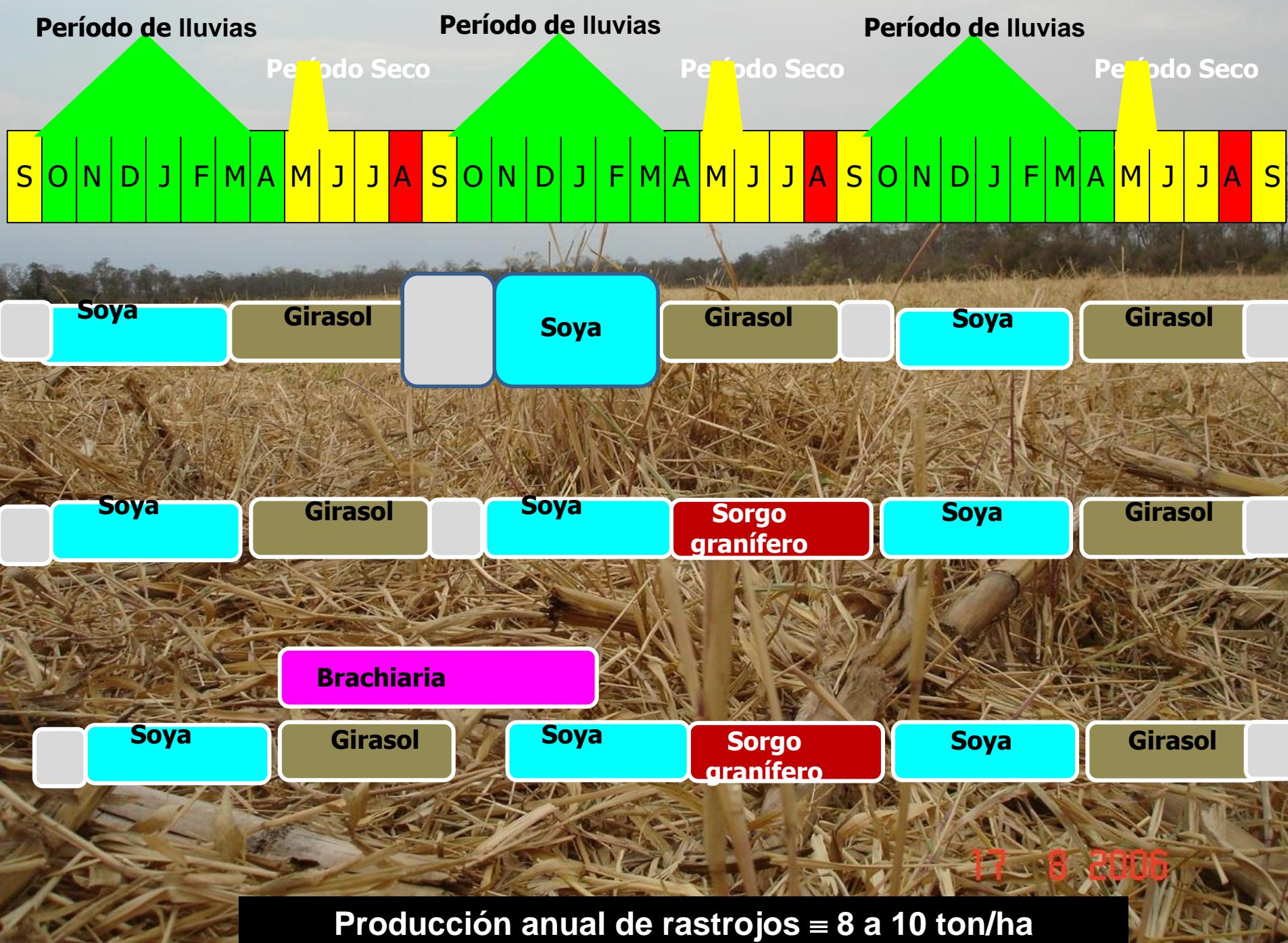
Propuestas de cambio para implantación de sistemas de cultivo intensivo; introducción de pasturas como plantas de cobertura (errores y aciertos) y la relación con la productividad.

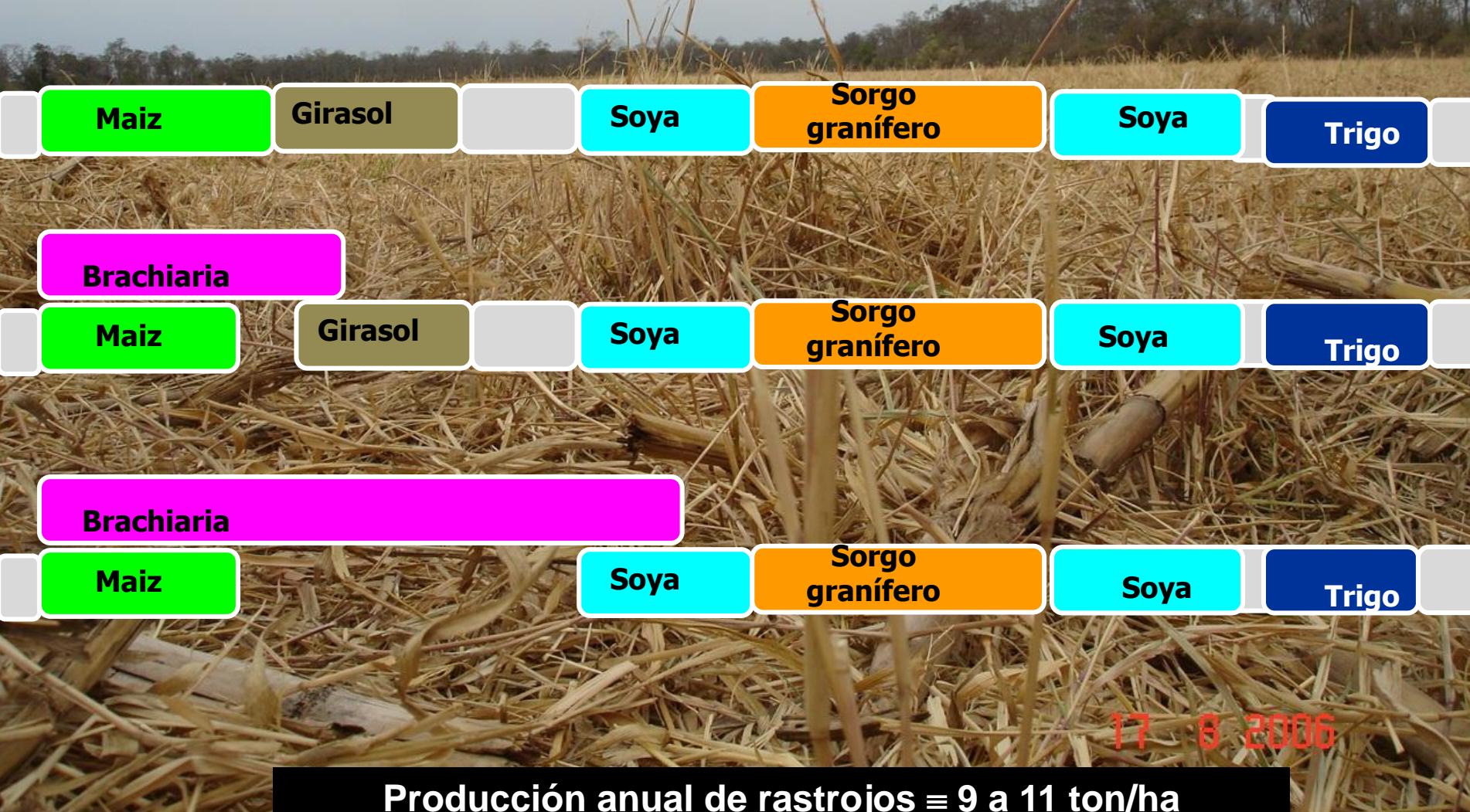
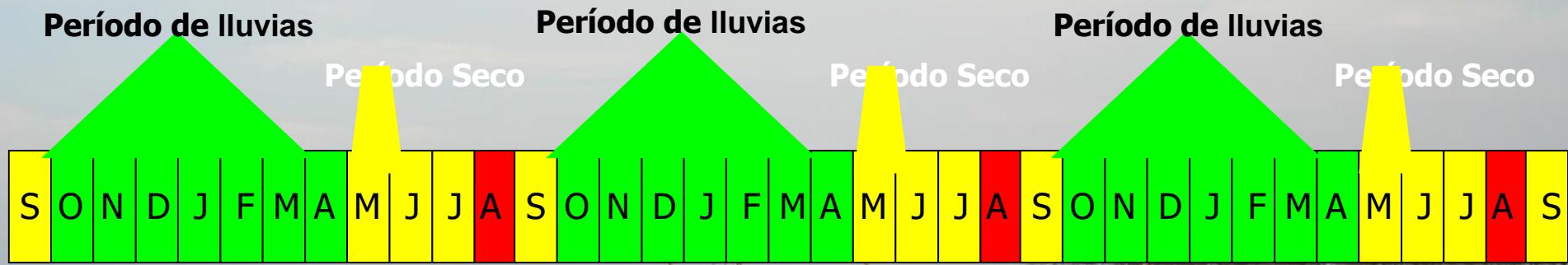
El balance de C en sistemas de cultivo

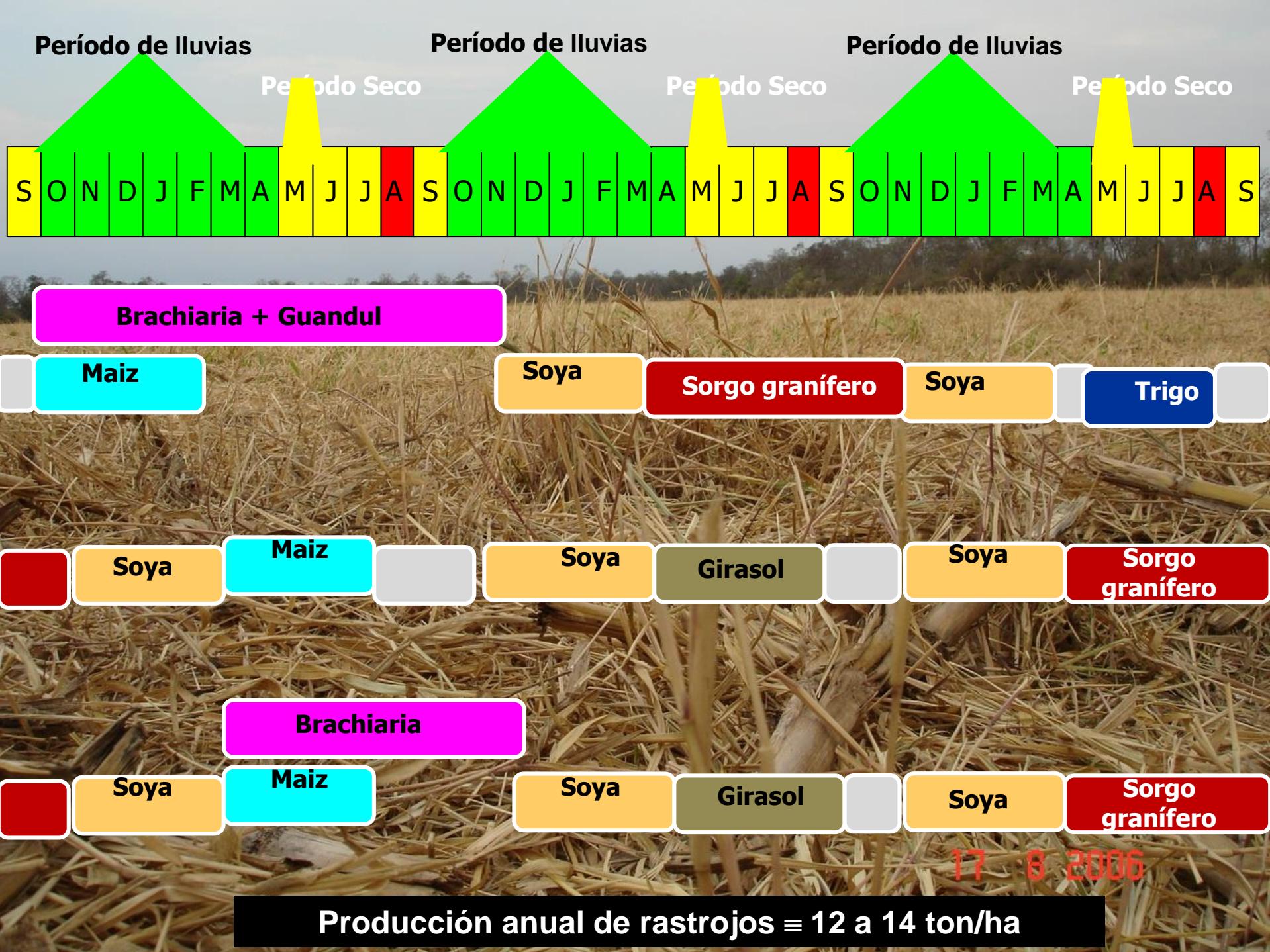
Concepto de sistema intensivo de cultivo

El significado de los sistemas de cultivo intensivo incluyen en "***cerrar la ventana***" entre la estación de lluvias (verano húmedo) y la temporada seca (invierno seco) utilizando cultivos de cobertura y los cultivos comerciales, para mantener la superficie del suelo cubierta permanente









$$dC/dt = - K_2 C + K_1 A$$

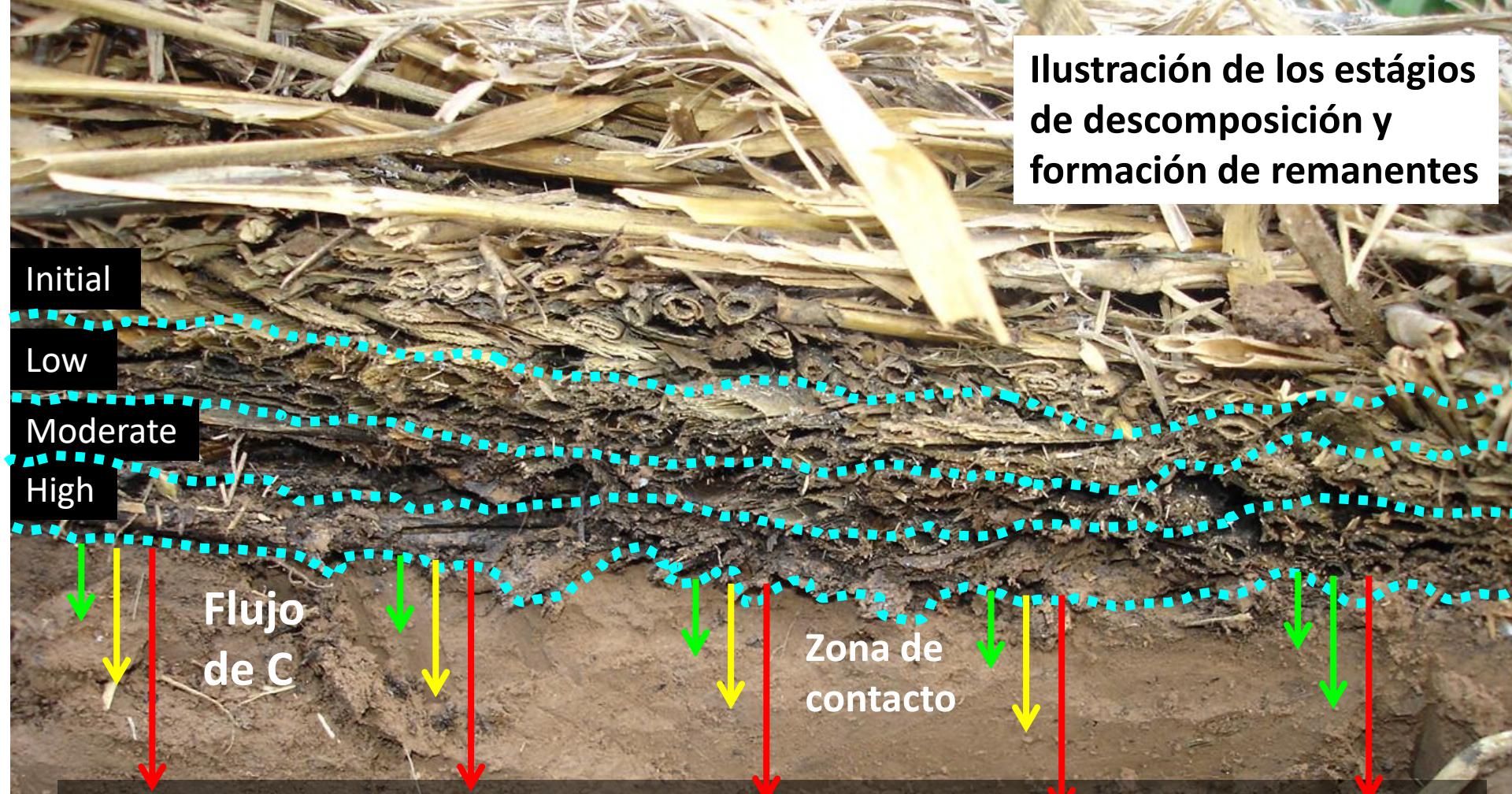
dC/dt representa la tasa de variación del C orgánico del suelo en el tiempo



Cobertura del suelo

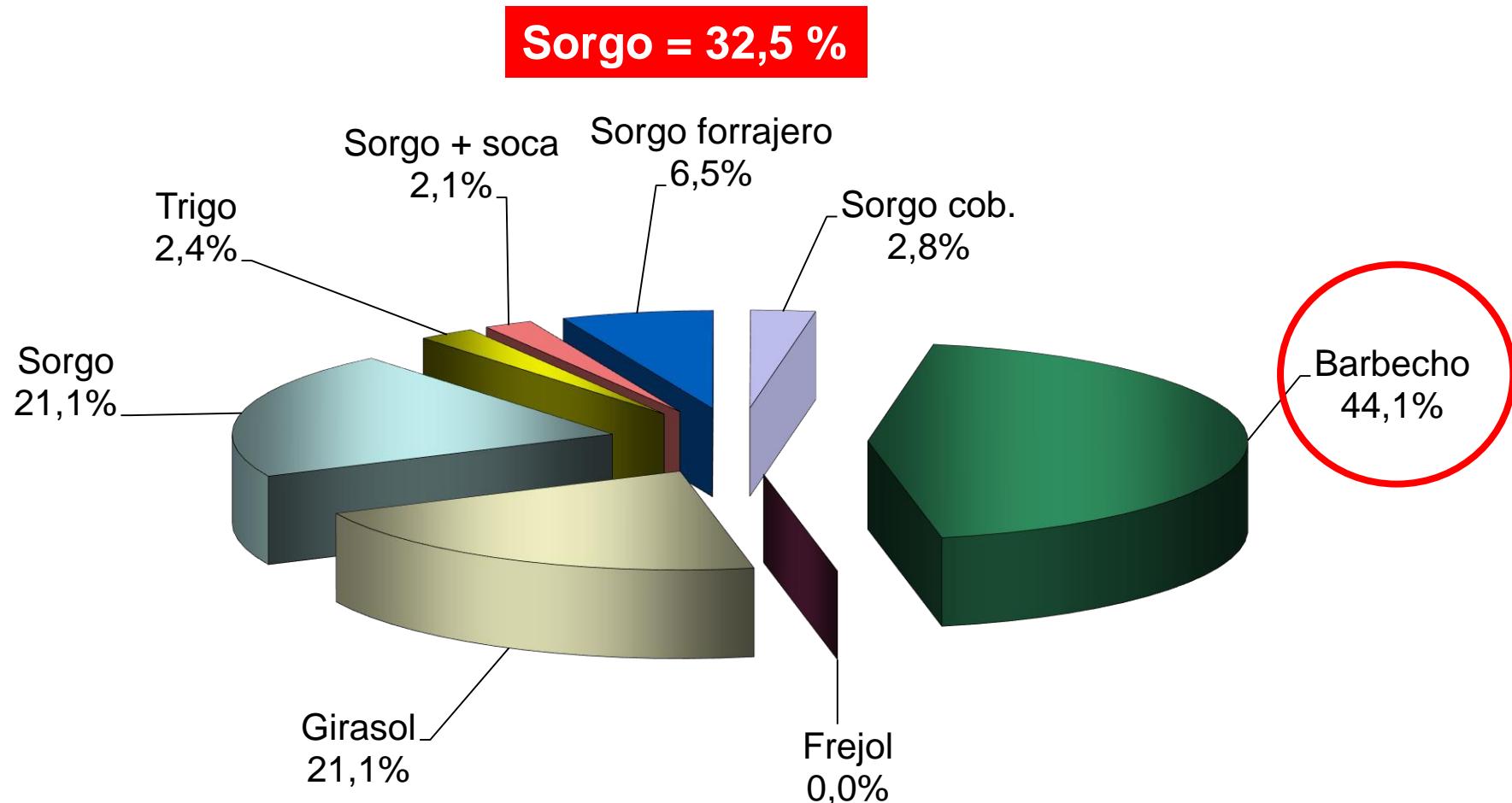


Ilustración de los estágios
de descomposición y
formación de remanentes



El enriquecimiento de la superficie y las capas más profundas es un proceso gradual que depende de la cantidad, calidad y frecuencia de la adición de residuos de la cosecha

Porcentaje de soya sembrada sobre distintos antecesores de invierno en la campaña de 04/05



Período antecesor a consultoría

Balance estimativo de C que sostuvieron el trabajo: Soya-Girasol

Componentes del Balance del C en el sistema	2000/01		2001/02		2002/03		2003/04		2004/05		2005/06	
	Ver	Inv										
	Soy	Gir										
Productividad (ton ha ⁻¹)	2,50	1,30	2,50	1,30	2,50	1,30	2,50	1,30	2,50	1,30	2,50	1,30
Materia seca total (ton ha ⁻¹)	4,13	3,16	4,13	3,16	4,13	3,16	4,13	3,16	4,13	3,16	4,13	3,16
Adición anual de C (k1*A)		0,62		0,62		0,62		0,62		0,62		0,62
Balance aparente de C		-0,54		-0,52		-0,50		-0,42		-0,48		-0,46
Balance Anual = Suma balance aparente de C/6 años (ton ha ⁻¹)												
												-0,486

Materia seca total anual (ton ha⁻¹)

7,28

-0,486

Balance de C: Rotación c/pastura

Componentes del Balance del C en el sistema	2005/06		2006/07		2007/08		2008/09		2009/10		2010/11	
	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv
	Maíz	Braq	Soy	Sor	Soy	Tri	Maí	Gir	Soy	Sor	Soy	Tri
Productividad (ton ha ⁻¹)	4,50	10,70	2,70	3,80	2,70	1,70	5,00	1,80	2,80	4,00	2,80	1,70
Materia seca total (ton ha ⁻¹)	7,74	12,84	4,46	10,5	4,46	3,83	8,60	4,37	4,62	10,84	4,62	3,83
Adición anual de C (k1*A)		1,76		1,28		0,71		1,11		1,32		0,72
Balance aparente de C	0,60		0,12		-0,42		0,04		0,32		-0,28	

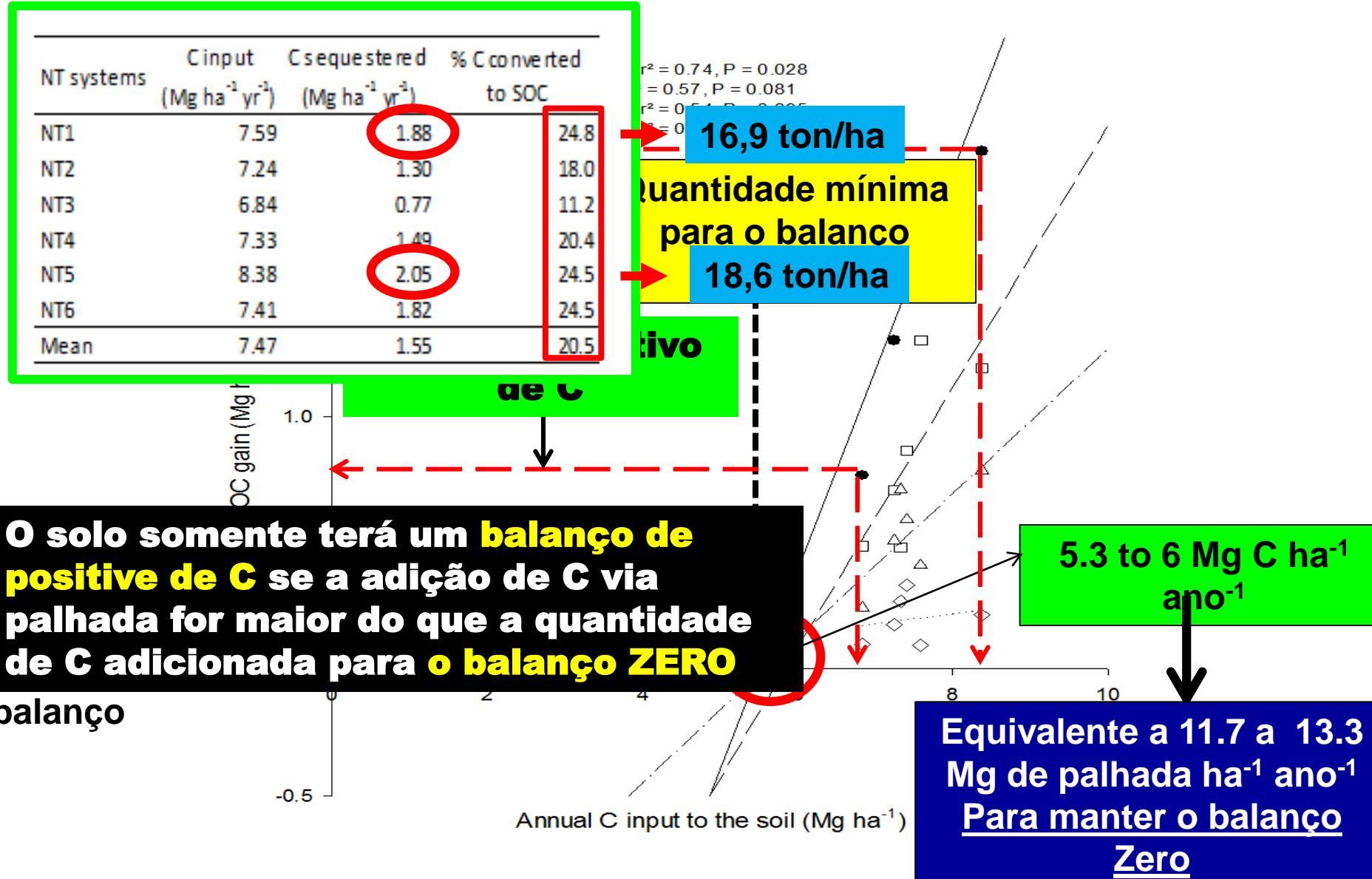
Balance Anual = Suma balance aparente de C/6 años (ton ha⁻¹)

0,063

Materia seca total anual (ton ha⁻¹)

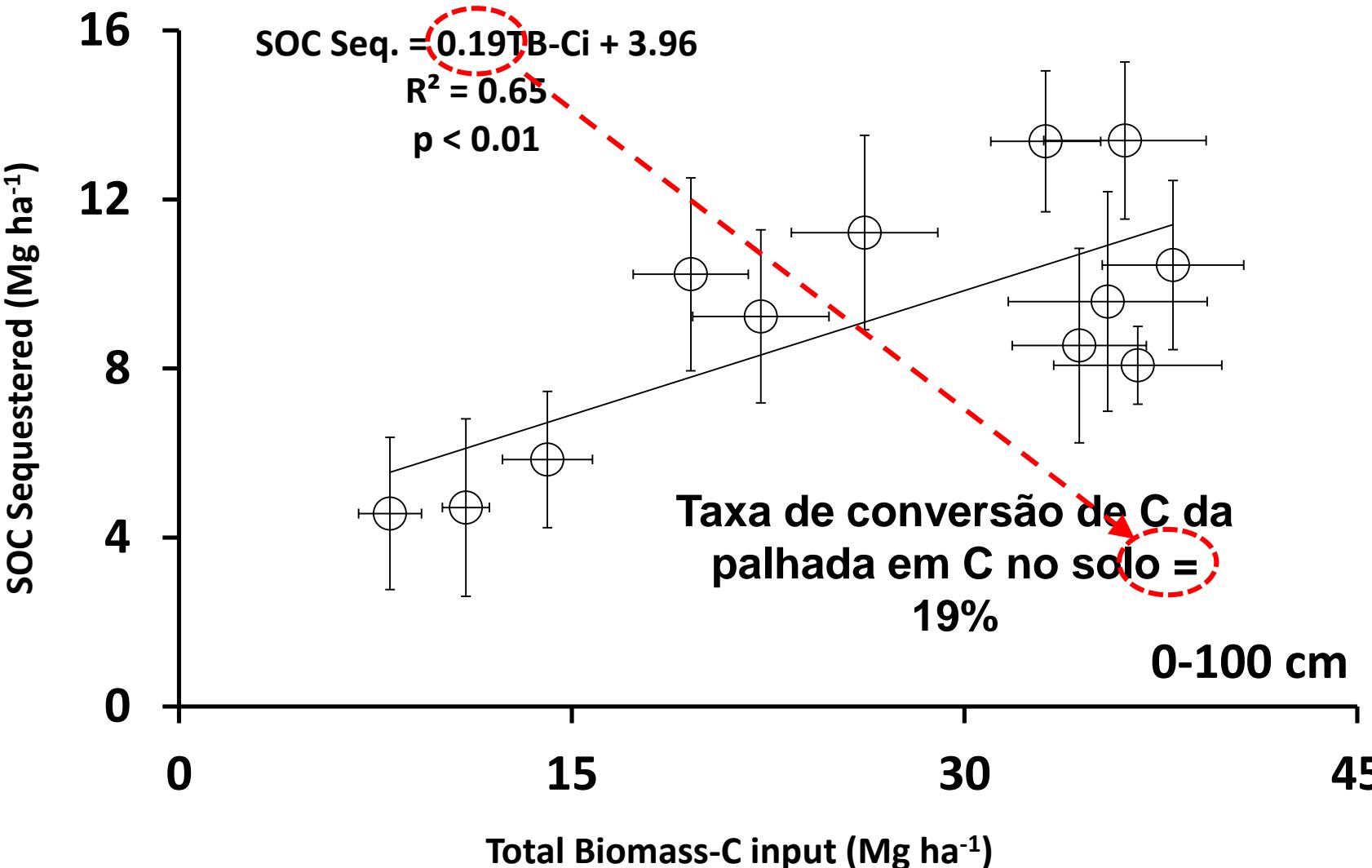
13,45

Quantidade de C adicionado via resíduos culturais para manter o equilíbrio no solo (Região tropical – MT)



Fonte: Sá, Lal, Tivet et al., 2015. Land Degradation and Development, 26:521-542.

**C sequestrado no perfil de 0-100 cm em resposta a
adição de C pela palhada (2009 a 2013) em um
Latossolo em região tropical**



Fonte: Hok, Sá et al., Agric. Ecosys. Envir., 2015

Qual a quantidade de resíduos culturais necessária para aumentar **1 ton de C** no solo em região

Memória de Cálculo

1 ton de palhada possui em média 45% de C = 450 kg de C

Fator de conversão: 1000 kg de palhada /450 kg C = 2,22

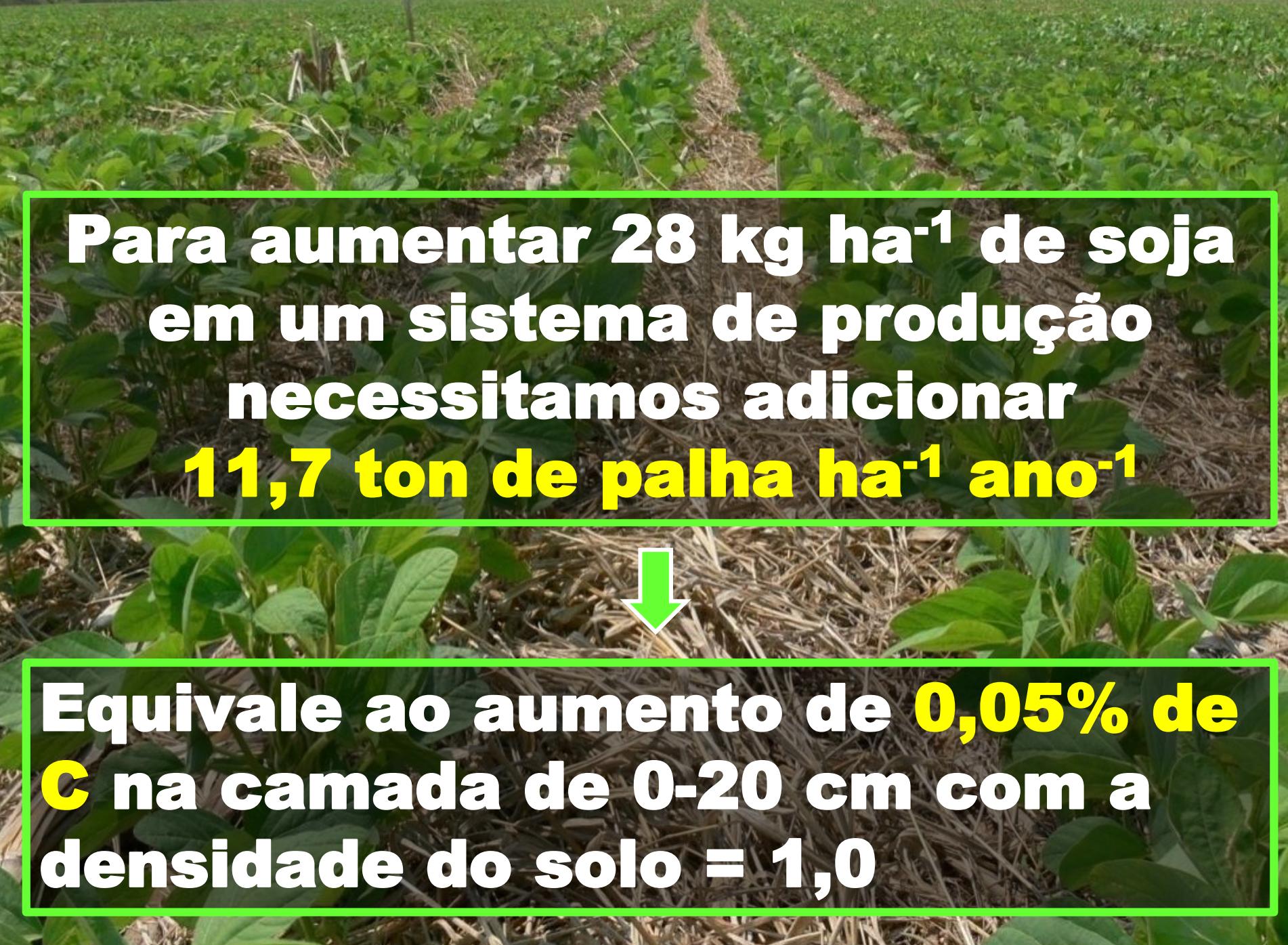
Taxa de conversão de C da palhada em C orgânico do solo = 19,0%

Fator de conversão = 100/19,1 = 5,26

Quantidade de C equivalente em palhada = 1 ton x 2,22 x

5,26 =

11.7 ton/ha de palha



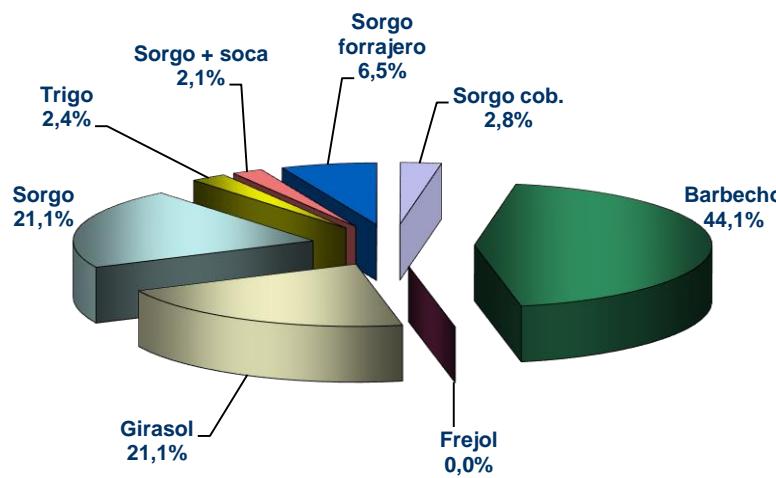
**Para aumentar 28 kg ha^{-1} de soja
em um sistema de produção
necessitamos adicionar
 $11,7 \text{ ton de palha ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$**



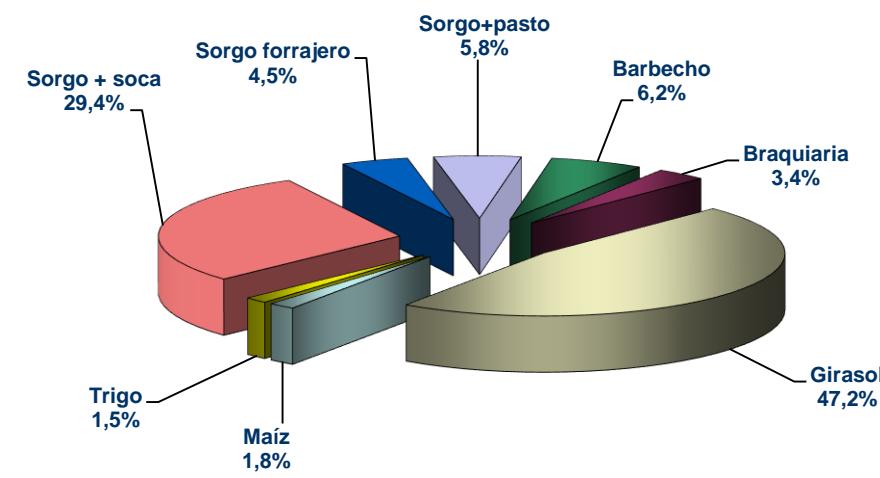
**Equivale ao aumento de $0,05\%$ de
C na camada de 0-20 cm com a
densidade do solo = 1,0**

Porcentaje de soya sembrada sobre distintos antecesores de invierno en la campaña de 04/05 (a) y en la campaña de 07/08 (b)

(a)



(b)



El comienzo del trabajo de consultoría

Cambios en el sistema de rotación

Balance de carbono en sistema de cultivo de sucesión **Gs-SY** bajo SD en un período de cuatro años

Componentes del Balance de C	t_1 (2001-02)	t_2 (2002-03)	t_3 (2003-04)	t_4 (2004-05)
Rotación de cultivos	Gs-Sy	Gs-Sy	Gs-Sy	Gs-Sy
Aporte anual de rastrojos	7,09	5,91	5,32	4,73
Remanente anual de rastrojos	1,10	0,93	1,02	0,84
Rastrojos descompuestos (A_L)	5,99	4,98	4,30	3,89
C-Perdido por descomposición (A_L)	2,63	2,18	1,88	1,70
C-Rastrojos convertido en C del suelo, $A_L * K1$	0,50	0,41	0,36	0,32
Stock de C en el suelo para 0-20 cm (ton ha ⁻¹)	24,82	24,57	24,25	23,88
Oxidación de C del suelo , C*K2 (ton ha ⁻¹)	0,74	0,74	0,73	0,72
Balance anual de C (ton ha ⁻¹)	-0,25	-0,32	-0,37	-0,39
Stock final de C (ton ha⁻¹)	24,57	24,25	23,88	23,49

Balance de carbono en sistema de cultivo intensivo bajo SD (Faz. Estrella - Lote 1) en un período de cuatro años

Componentes del Balance de C	t_1 (2005-06)	t_2 (2006-07)	t_3 (2007-08)	t_4 (2008-09)
Rotación de cultivos	Lb-Mz	Gs-Sy	Sg-Sy	Frj-Mz
Aporte anual de rastrojos	11,74	14,62	16,18	15,74
Remanente anual de rastrojos	4,55	2,81	5,62	3,53
Rastrojos descompuestos (A_L)	7,19	11,80	10,56	12,21
C-Perdido por descomposición (A_L)	3,15	5,17	4,63	5,35
C-Rastrojos convertido en C del suelo, $A_L * K1$	0,60	0,98	0,88	1,02
Stock de C en el suelo para 0-20 cm (ton ha ⁻¹)	38,83	38,88	39,32	39,65
Oxidación de C del suelo , C*K2 (ton ha ⁻¹)	0,54	0,54	0,55	0,56
Balance anual de C (ton ha ⁻¹)	0,05	0,44	0,33	0,46
Stock final de C (ton ha⁻¹)	38,88	39,32	39,65	40,11

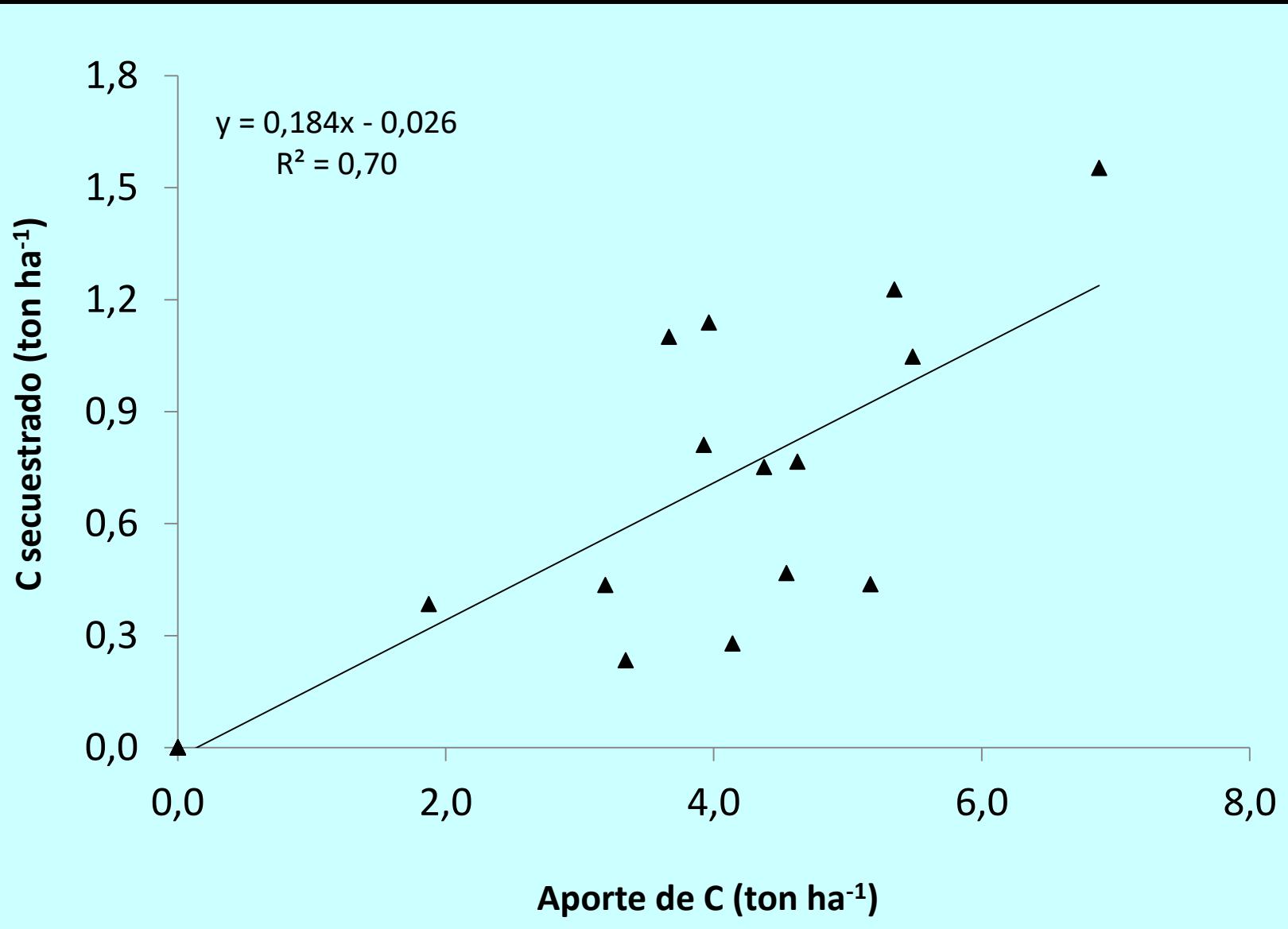
Balance de carbono en sistema de cultivo intensivo bajo SD en un período de cuatro años (Faz. Estrella - Lote 9 – Sin Brq)

Componentes del Balance de C	t_1 (2005-06)	t_2 (2006-07)	t_3 (2007-08)	t_4 (2008-09)
Rotación de cultivos	Gs-Sy	Sf-Sy	Tr-Mz	Gs-Sy
Aporte anual de rastrojos	12,96	23,70	20,22	19,20
Remanente anual de rastrojos	3,37	4,60	7,70	3,50
Rastrojos descompuestos (A_L)	9,59	19,10	12,52	15,70
C-Perdido por descomposición (A_L)	4,20	8,37	5,48	6,88
C-Rastrojos convertido en C del suelo, $A_L * K1$	0,80	1,59	1,04	1,31
Stock de C en el suelo para 0-20 cm (ton ha ⁻¹)	56,17	56,18	56,98	57,23
Oxidación de C del suelo , C*K2 (ton ha ⁻¹)	0,79	0,79	0,80	0,80
Balance anual de C (ton ha ⁻¹)	0,01	0,80	0,24	0,51
Stock final de C (ton ha⁻¹)	56,18	56,98	57,23	57,73

Balance de carbono en sistema de cultivo intensivo bajo SD en un período de cuatro años (Faz. Estrella - Lote 9 – Con Brq)

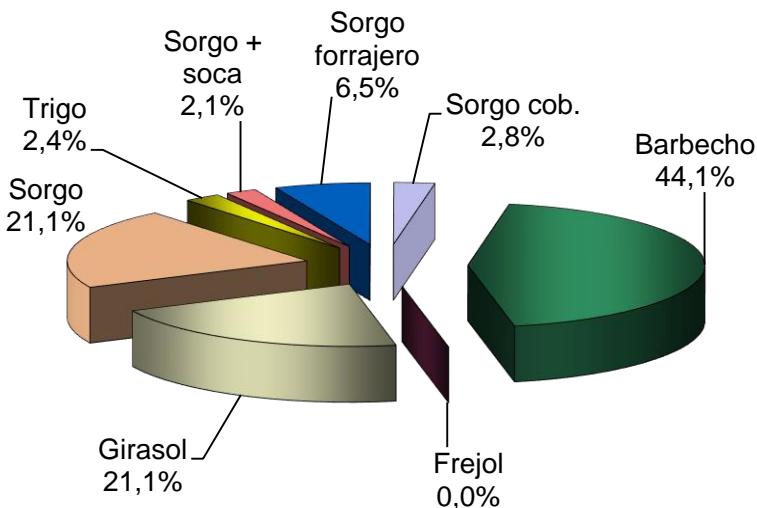
Componentes del Balance de C	t_1 (2005-06)	t_2 (2006-07)	t_3 (2007-08)	t_4 (2008-09)
Rotación de cultivos	Gs-Sy	Sf-Sy	Tr-Mz	Bq-Sy
Aporte anual de rastrojos	12,96	23,70	20,22	25,90
Remanente anual de rastrojos	3,37	4,60	7,70	4,40
Rastrojos descompuestos (A_L)	9,59	19,10	12,52	21,50
C-Perdido por descomposición (A_L)	4,20	8,37	5,48	9,42
C-Rastrojos convertido en C del suelo, $A_L * K1$	0,80	1,59	1,04	1,79
Stock de C en el suelo para 0-20 cm (ton ha ⁻¹)	56,17	56,18	56,98	57,23
Oxidación de C del suelo , C*K2 (ton ha ⁻¹)	0,79	0,79	0,80	0,80
Balance anual de C (ton ha ⁻¹)	0,01	0,80	0,24	0,99
Stock final de C (ton ha ⁻¹)	56,18	56,98	57,23	58,22

Relación entre el aporte de C x el C secuestrado

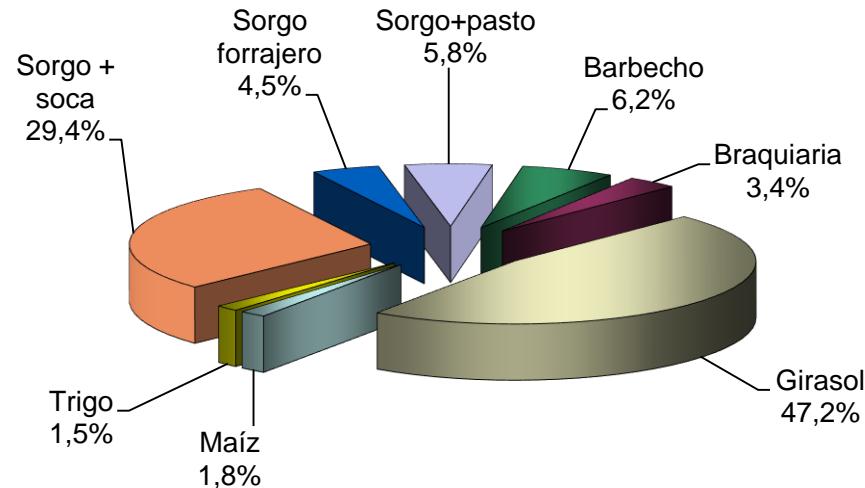


Antecesores de Soya

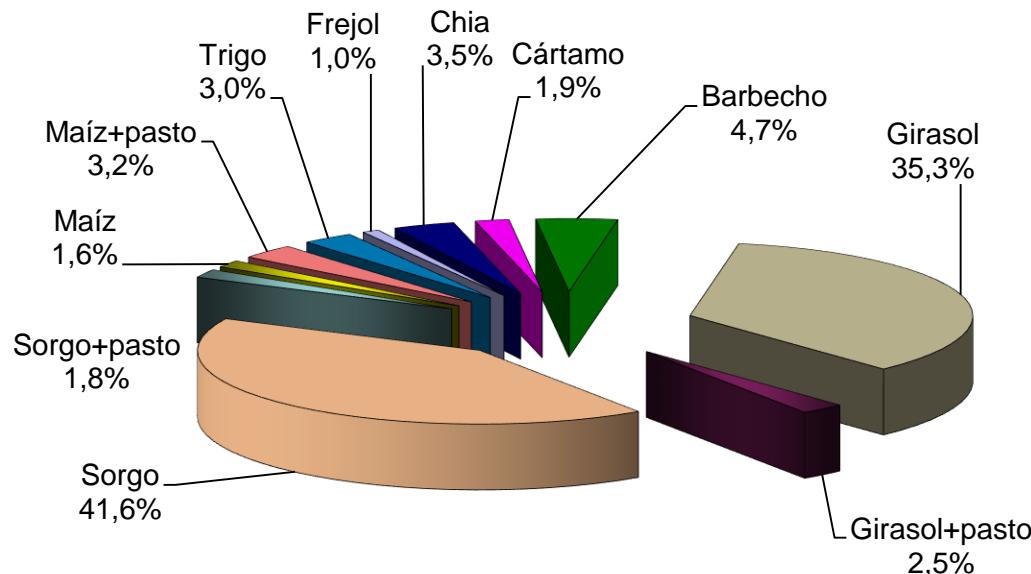
2004/05



2007/08



2009/10



Resumen

- ↑ Sorgo 1,34 veces
- ↓ Barbecho 9,38 veces
- ↑ Diversidad de cultivos

¿Cuál es el impacto en la rentabilidad de cultivos con sistemas intensivos de cultivo?



Aporte de rastrojos, aporte de C, balance de C y rentabilidad de sistemas intensivos bajo SD

Componente	Fincas				
	AGP	HDS	5 EST	EL TJ	Mean
Aporte de rastrojos	14.61	15.10	15.41	11.07	14.05
Aporte de C	6.57	6.80	6.93	4.98	6.32
Balance de C	+ 0.138	+ 0.174	+ 0.200	- 0.148	+ 0.066
Rentabilidad	270.4	257.3	255.8	236.4	255.0

Retorno económico de la rotación de cultivos intensivos x entrada de C



Conclusiones

El balance de C es directamente relacionado con los aportes

Sistemas como girasol-soya no son sostenibles

El cerramiento de “las ventanas” es esencial para el avance de sistemas sostenibles

El potencial de secuestro de C para la zona de expansión es cerca de 360000 ton de CO₂ por año



**El desafío para los productores es
desarrollar un sistema de producción
basado en el carbono para lograr la
sostenibilidad**

17-8-2006

**O pintor Van Gog já sabia que
descansar na palha após um dia de
trabalho é bom!!!**

