



Claves para la determinación del rendimiento en los ambientes de alto potencial del sur de Chile

Daniel F. Calderini



Universidad Austral de Chile

Valdivia, diciembre de 2013

Esquema de la Presentación

- Rendimientos comparativos entre el sur de Chile y otras regiones del mundo
- Análisis de variables del desarrollo y su impacto sobre la potencialidad del rendimiento
- Producción y partición de la biomasa: captura de radiación y conversión en biomasa, comparaciones con indicadores de otros sistemas productivos
- Análisis de los componentes numéricos del rendimiento y su relación con el potencial



ELSEVIER

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Field Crops Research

journal homepage: www.elsevier.com/locate/fcr



Combining high grain number and weight through a DH-population to improve grain yield potential of wheat in high-yielding environments

Daniela V. Bustos^{a,b}, Ahmed K. Hasan^{a,b}, Matthew P. Reynolds^c, Daniel F. Calderini^{b,*}

^a Graduate School, Faculty of Agricultural Sciences, Universidad Austral de Chile, Campus Isla Teja, Valdivia, Chile

^b Institute of Plant Production and Protection, Universidad Austral de Chile, Campus Isla Teja, Valdivia, Chile

^c Global Wheat Program, International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F., Mexico

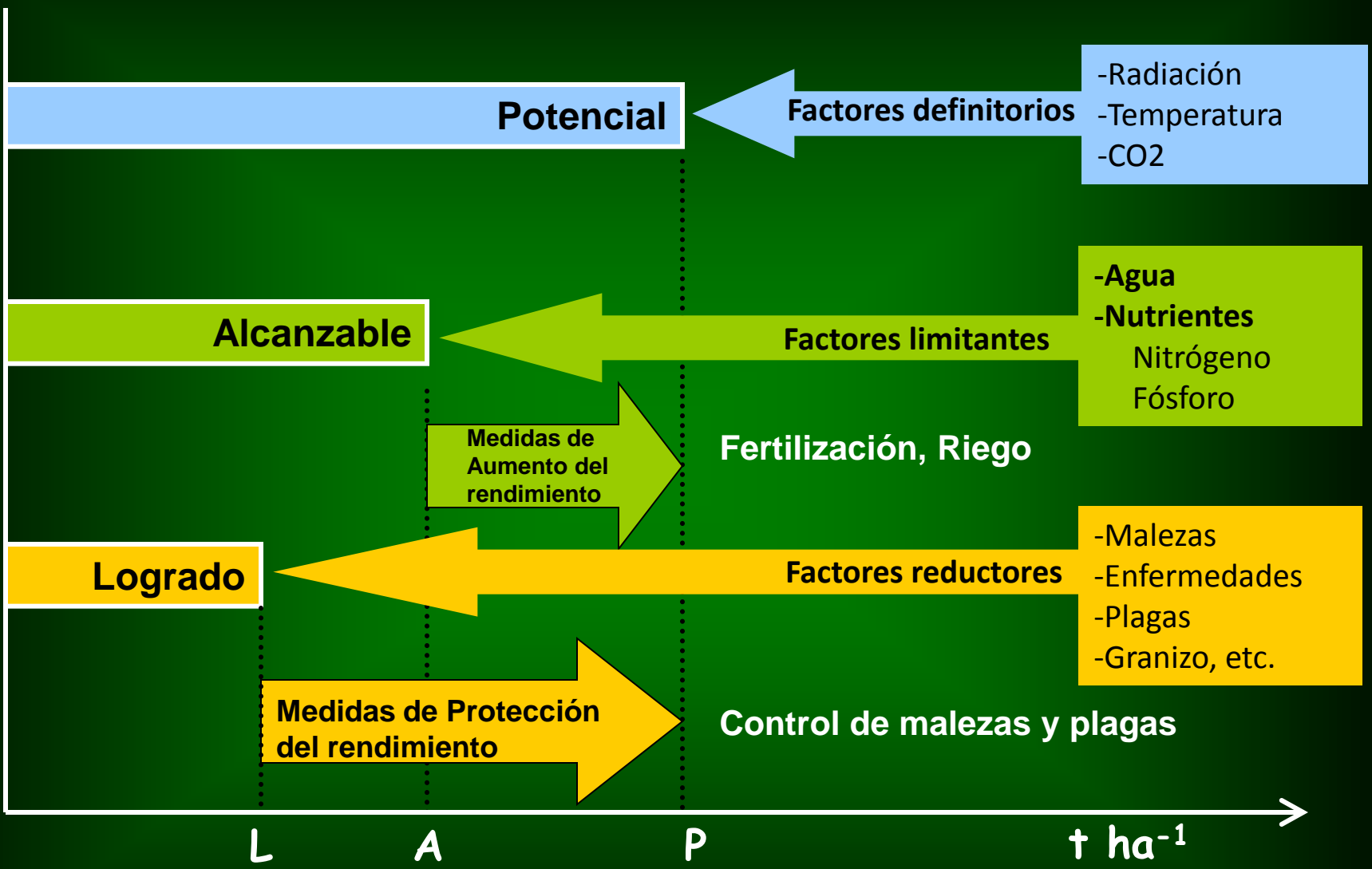
Dear Daniel

The exceptionally high DM and GY in experiments 1 and 2

So why is yield so high in Valdivia?

Tony Fischer

CLASIFICACIÓN DE RENDIMIENTO Y FACTORES LIMITANTES A LA PRODUCCIÓN



Niveles de Producción de trigo

adaptado de Rabbinge, 1993.

Trigos primaverales en Argentina, Inglaterra, México y Chile

2 cultivares y 105 líneas doble haploides

Location	Environments	Latitude	Longitude	Altitude	Sowing date	Seed ratem ⁻²
Buenos Aires (ARG)	BA_09	34 35'S	58 29'W	26	July 5 th 2009	250
Norwich (UK)	CF_08	52°37'N	1°10'E	31	October 31 st 2007	
	CF_10	52°37'N	1°10'E	37	October 30 th 2009	
Cdad. Obregon (MEX)	Ob_07	27 25'N	109 54'W	38		180
	Ob_08	27 25'N	109 54'W	38		
	Ob_09	27 25'N	109 54'W	38		
	Ob_10	27 25'N	109 54'W	38	December 2 nd 2009	180
Valdivia (CHI)	Va_08	39 47'S	73 14'W	19	Aug 23 rd 2008	350
	Va_09	39 47'S	73 14'W	19	Sep 4 th 2009	350

Griffiths (datos no publicados)

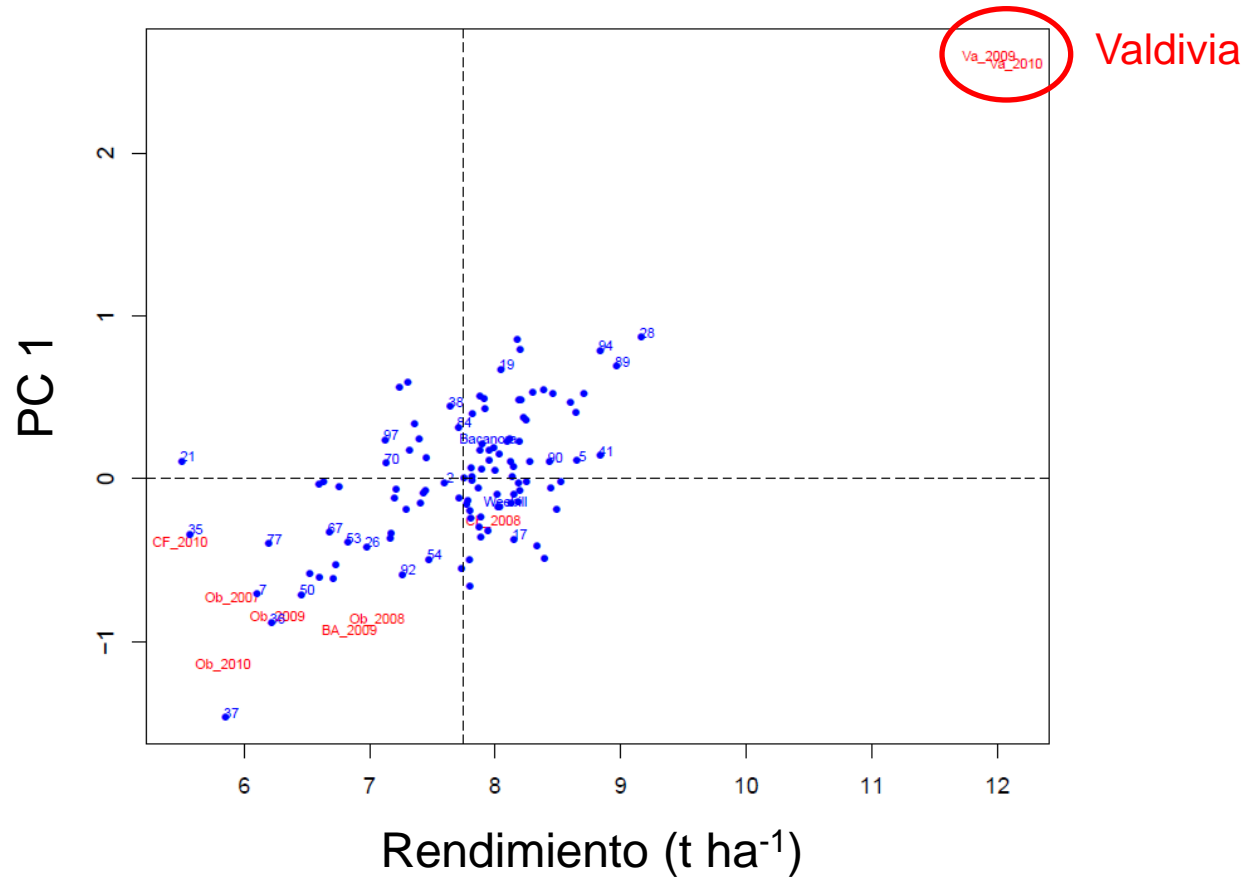
Trigos primaverales en Argentina, Inglaterra, México y Chile

Genotype/ environment	Rendimiento	P1000	NG	
Weebill	Ob_07	6.4	40.13	13939
	Ob_08	-	-	-
	Ob_09	7.2	45.5	15991
	Ob_10	5.9	46.0	12865
	CF_08	9.8	-	-
	CF_10	6.3	50.1	12329
	Va_09	12.9	45.4	28410
	Va_10	12.7	46.0	27645
	BA_09	6.6	38.1	17327
	Bacanora	Ob_07	6.1	36.2
Ob_08		-	-	-
Ob_09		6.1	34.1	17908
Ob_10		5.8	38.8	14973
CF_08		8.6	-	-
CF_10		4.8	35.8	13374
Va_09		11.7	39.0	30144
Va_10		11.8	38.7	30719
BA_09		7.0	27.3	25485
Weebill x Bacanora		Ob_07	6.5	38.0
	Ob_08	7.1	38.6	18498
	Ob_09	6.3	37.7	16762
	Ob_10	5.8	39.5	14880
	CF_08	7.7	-	-
	CF_10	5.5	41.1	13459
	Va_09	11.9	44.2	27177
	Va_10	12.2	44.7	27338
	BA_09	6.8	31.9	21774

Griffiths (datos no publicados)

Trigos primaverales en Argentina, Inglaterra, México y Chile

2 cultivares y 105 líneas doble haploides

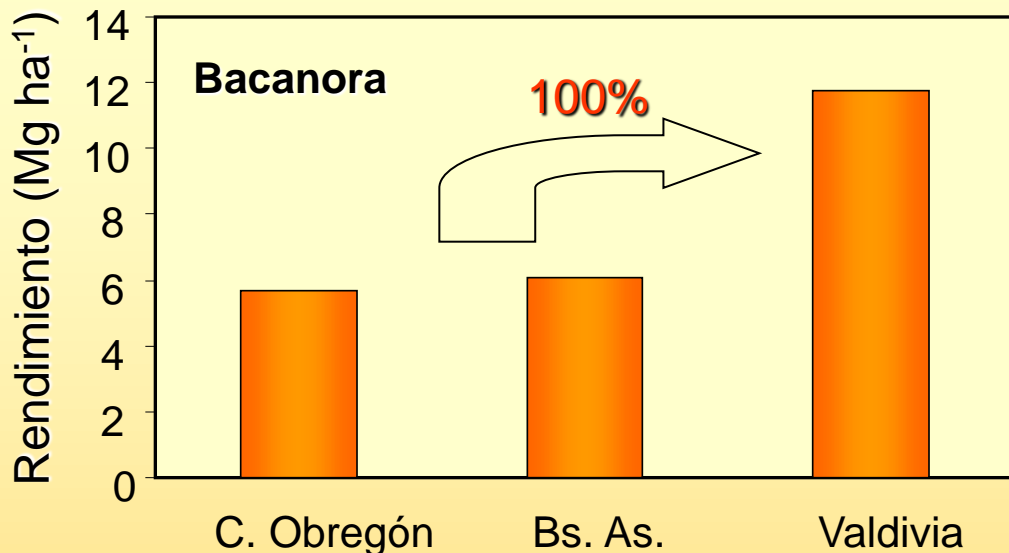


Rendimientos de Trigo y Cebada

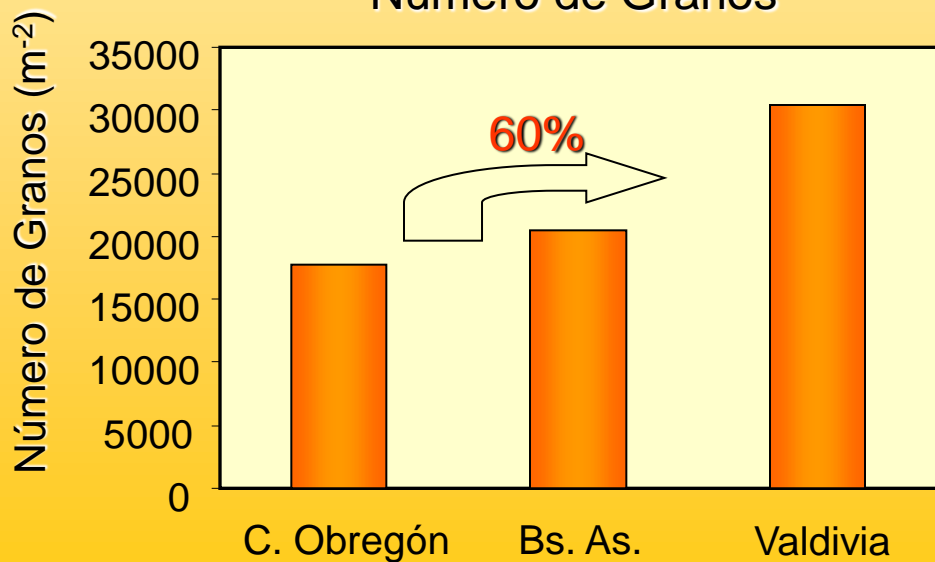
(Experimentos en Valdivia)

Cultivo	Genotipo	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	Año	Fuente
Trigo	Dalcahue	11,6	2005	<i>Valle et al, 2009</i>
	Otto	12,4	2005	<i>Sandaña et al, 2009</i>
	Pandora	11,2	2010	<i>Bustos et al., 2013</i>
	Bacanora	12,6	2009	<i>Hasan et al., 2010</i>
Cebada	Acuario	11,0	2008	<i>Quiroz, 2010</i>
	Acuario	11,5	2009	<i>Quiroz, 2010</i>
	Scarlett	12,5	2010	<i>Marín, 2011</i>

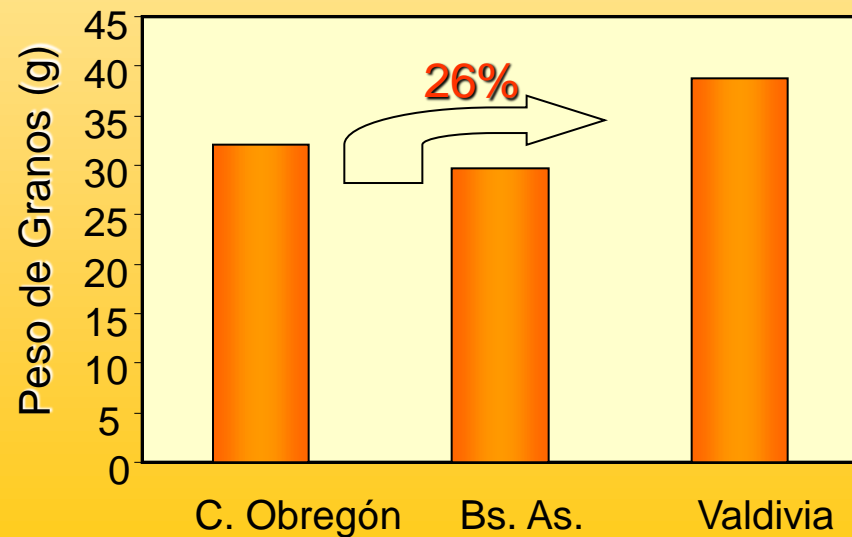
RENDIMIENTOS de TRIGO



Número de Granos



Peso de Granos



Rendimientos de Cebada

Sitio	Genotipo	Rendimiento (Mg ha ⁻¹)	NG	PG (g)
Bs. As.	Scarlet	7,2	17104	40,6
	"	9,2	24581	37,8
Valdivia	"	12,5	26773	46,6
	"			

74%

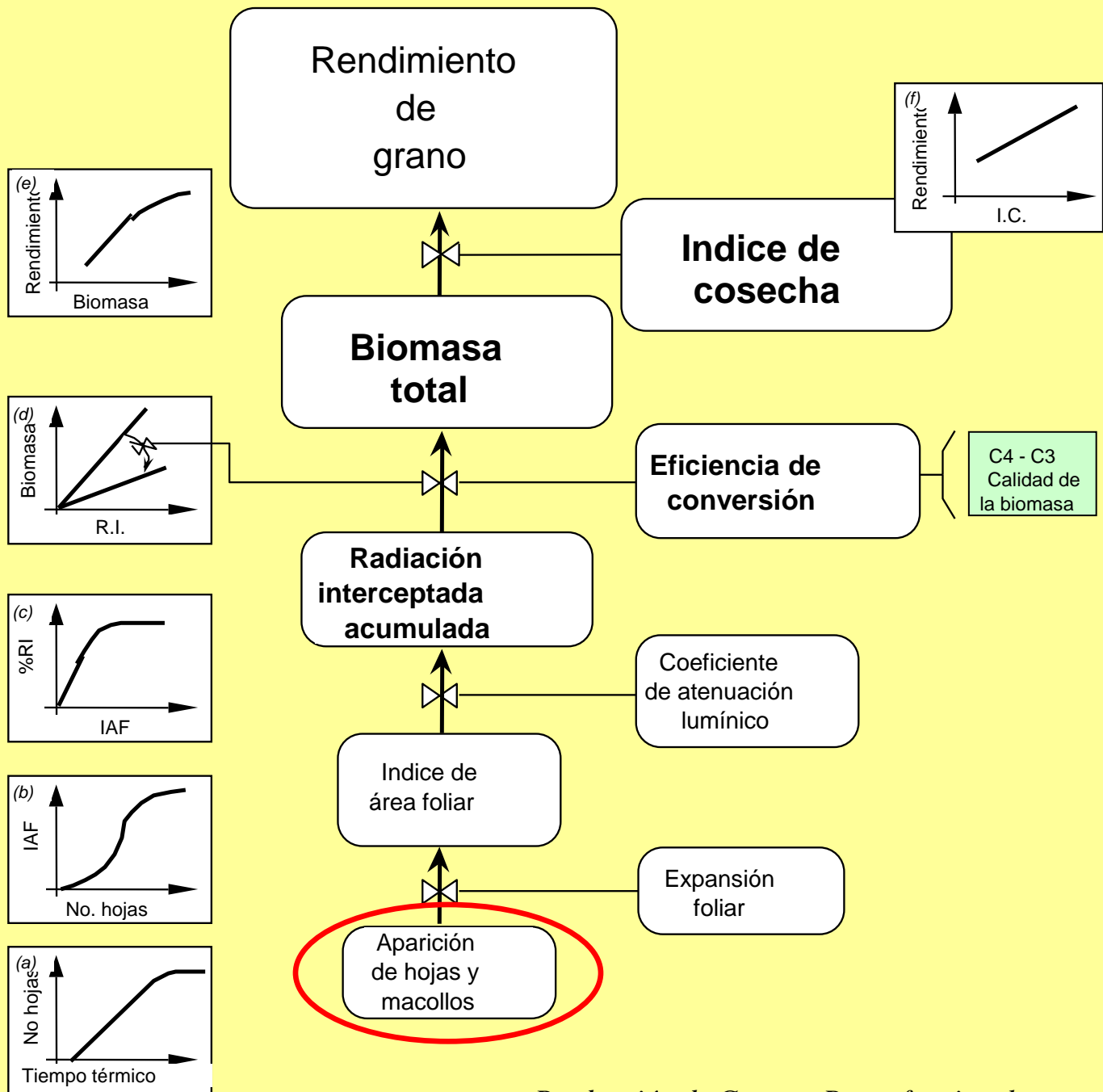
36%

57%

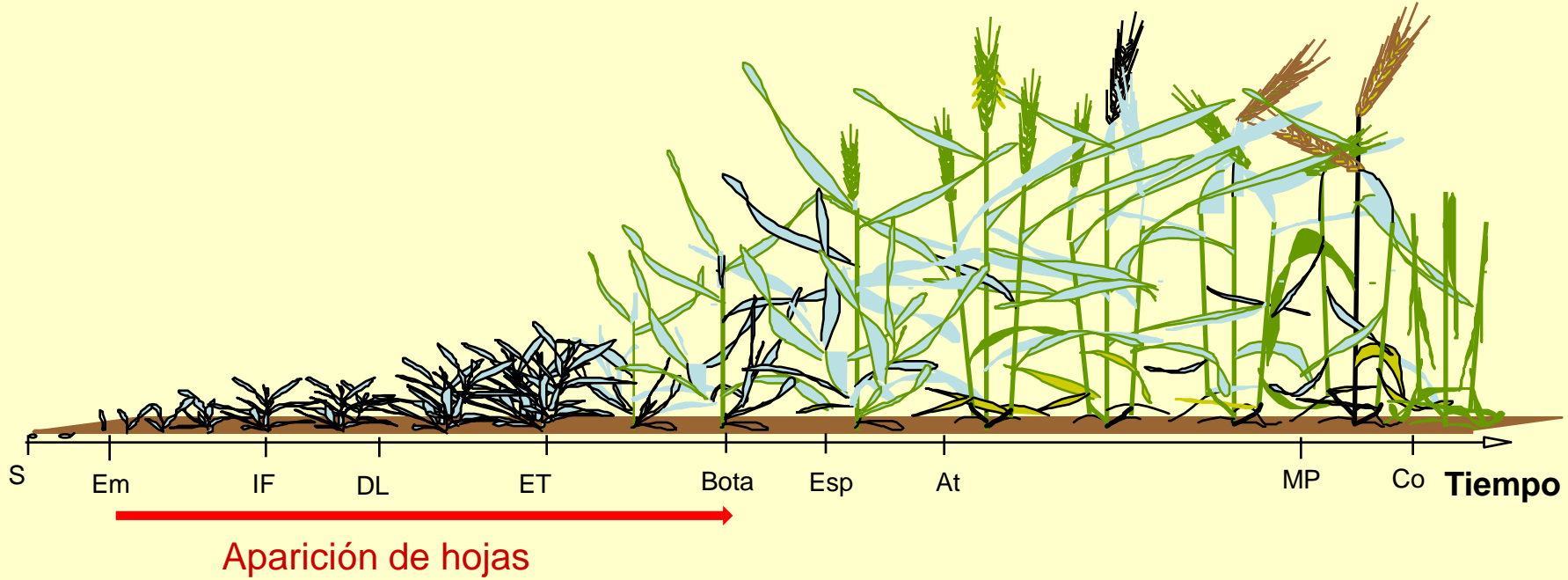
9%

15%

23%

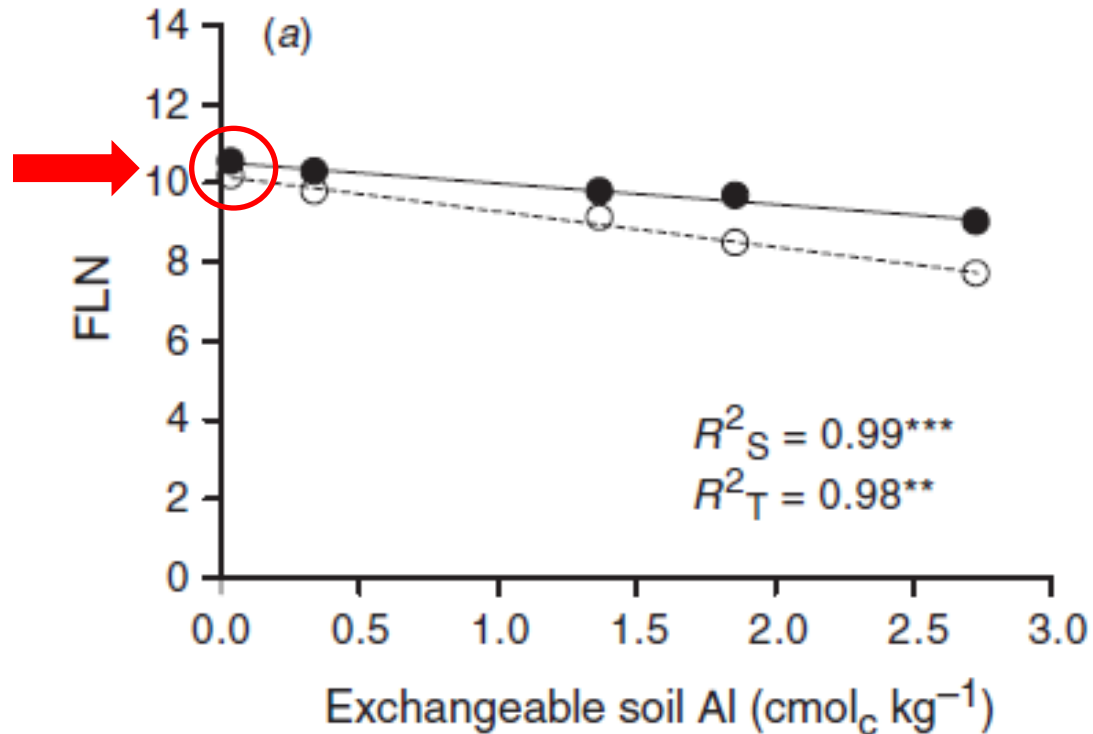


Ciclo del Cultivo de Trigo



Adaptado de Slafer y Rawson (1994)

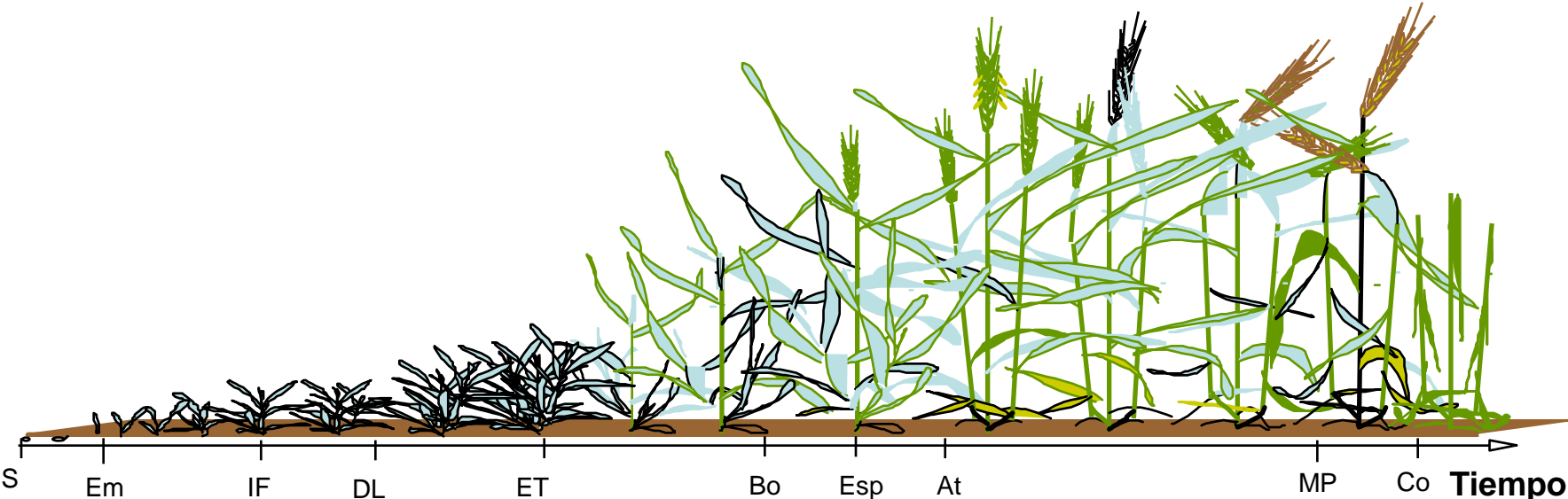
Número de hojas en trigos primaverales (Valdivia)



Número de hojas y filocrono en cebada (Bs. As.) y trigos primaverales (Valdivia)

N ₁₁₀ (exp. 1)		Phyllochron (degree-days leaf ⁻¹)	
		Early leaves	Later leaves
FLN (leaf per main stem)			
M. Heda	11.0		
M. 150	11.2		
Q. Alfa	10.8		
Q. Ayelén	10.7		
S.E.	0.57 (6 d.f.)		
Phyll. 1 (°C per day per leaf)			
M. Heda	71		
M. 150	73		
Q. Alfa	78		
Q. Ayelén	77		
S.E.	3.83 (6 d.f.)		
Phyll. 2 (°C per day per leaf)			
M. Heda	118		
M. 150	120		
Q. Alfa	120		
Q. Ayelén	133		
S.E.	8.45 (6 d.f.)		
Breakpoint (leaf)			
M. Heda	5.2 (356)		
M. 150	4.3 (321)		
Q. Alfa	4.2 (338)		
Q. Ayelén	4.4 (350)		
S.E.	0.57 (6 d.f.)		
		Dalcahue	
		66.72de	119.87cd
		79.84bc	126.33bcd
		87.42b	147.95abc
		78.33bc	139.99bc
		100.10a	158.25ab
		Domo	
		65.49de	113.73cd
		59.21e	99.50d
		71.65cd	122.43cd
		87.19b	145.00abc
		79.29bc	175.90a
		*** (1.693)	n.s. (5.215)
		*** (2.678)	** (8.246)
		** (3.787)	n.s. (11.661)

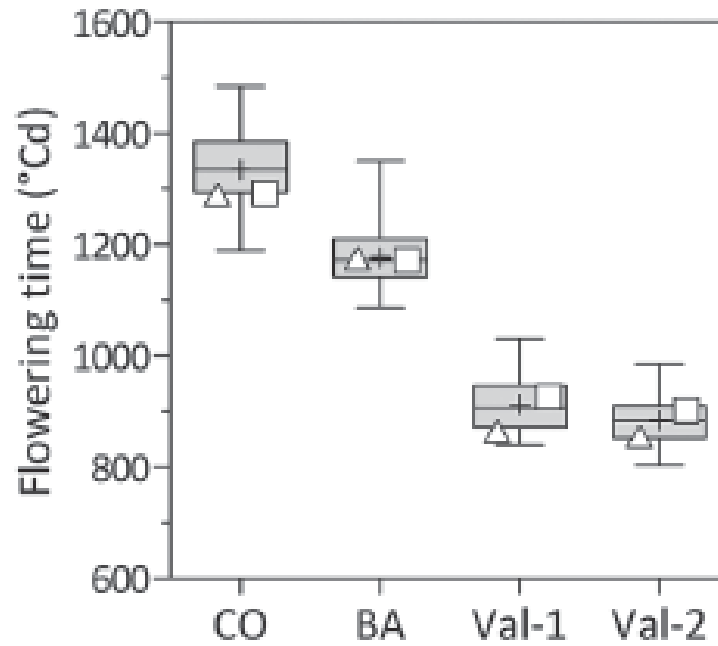
Ciclo del Cultivo de Trigo



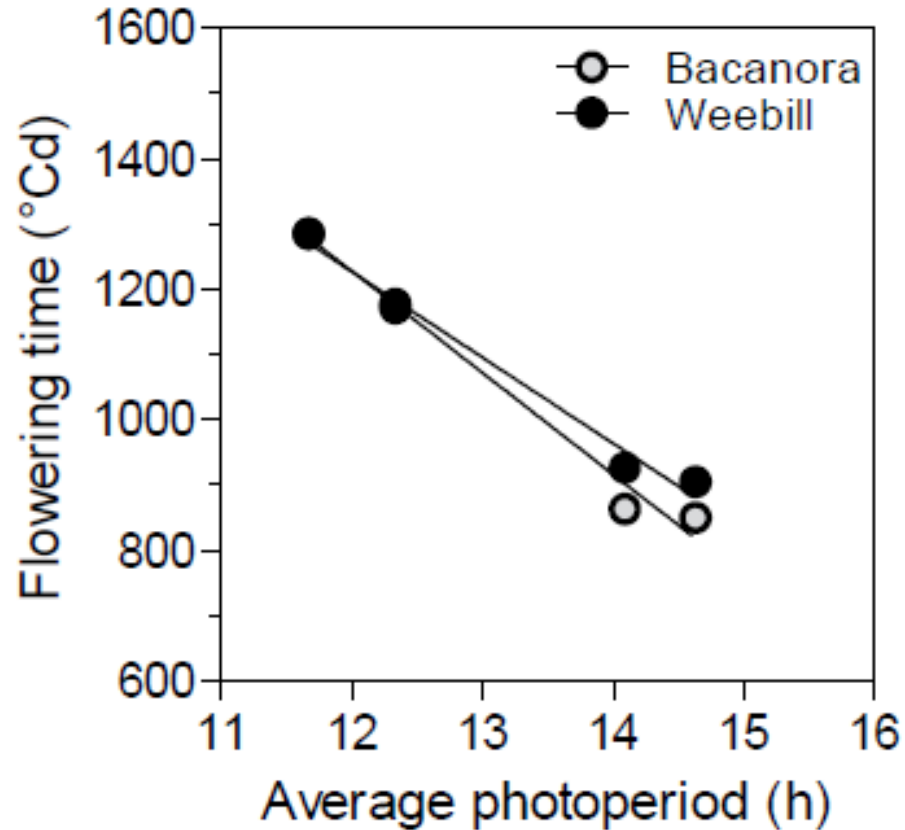
Adaptado de Slafer y Rawson (1994)

Tiempo entre emergencia y floración en trigos primaverales

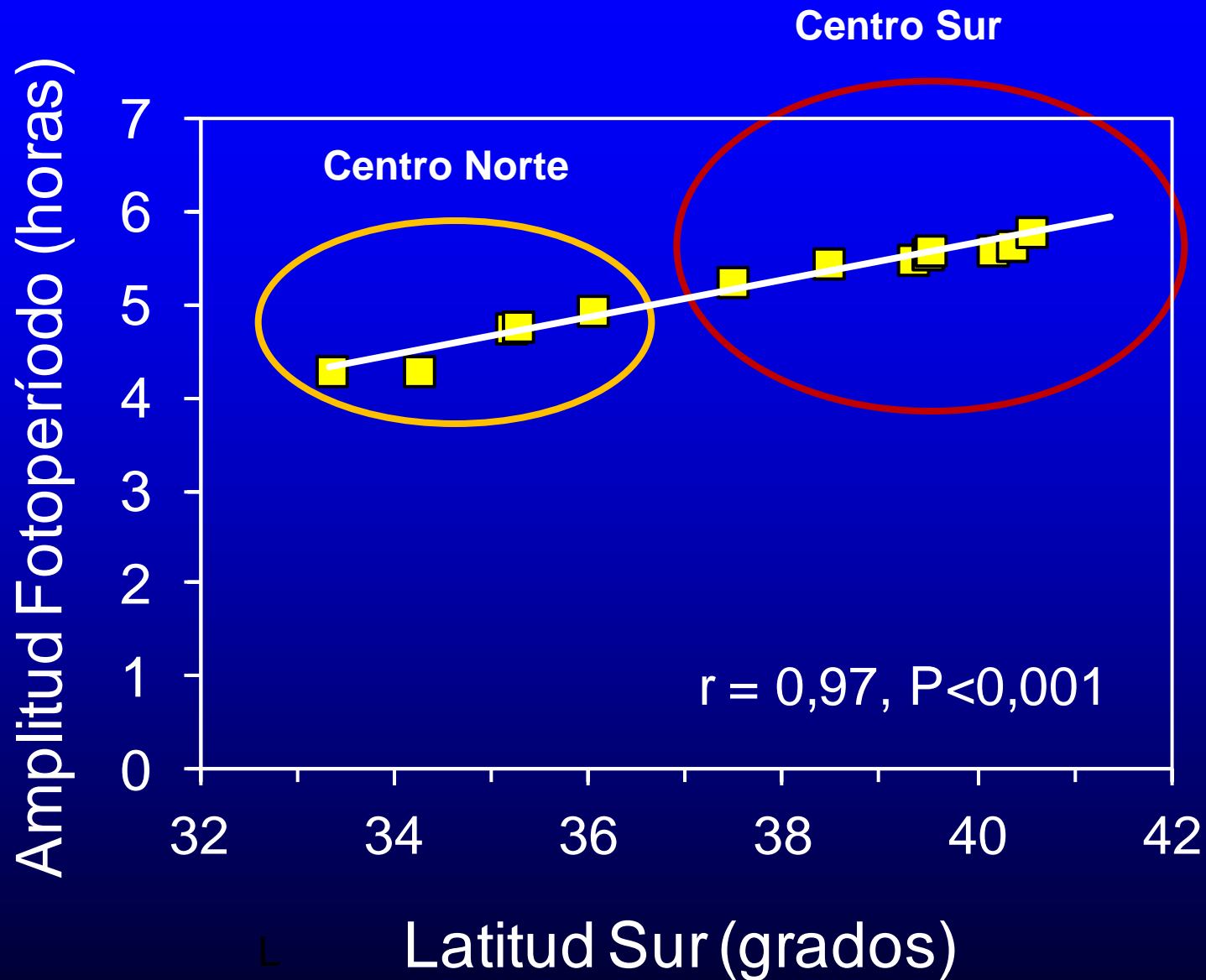
2 cultivares y 105 líneas doble haploides



RESPUESTA FOTOPERIÓDICA DE DOS CULTIVARES DE TRIGO

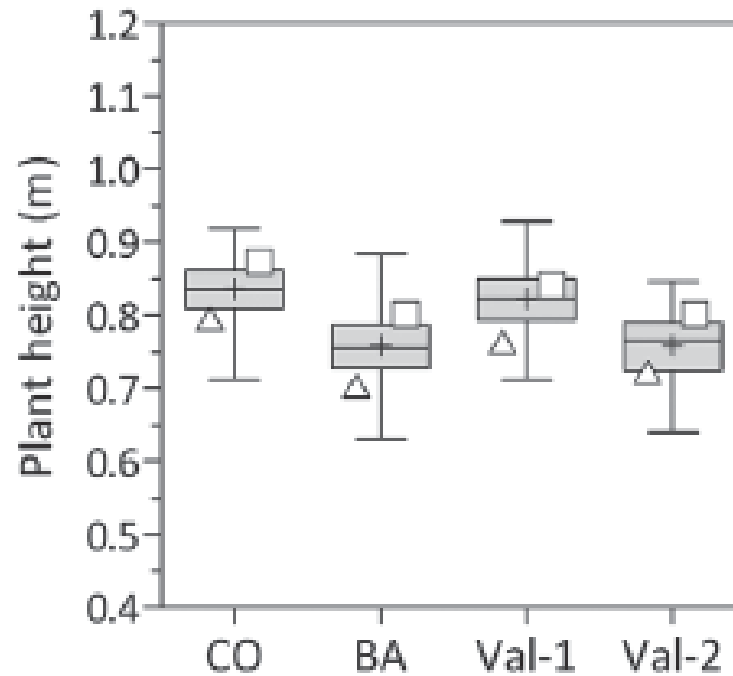


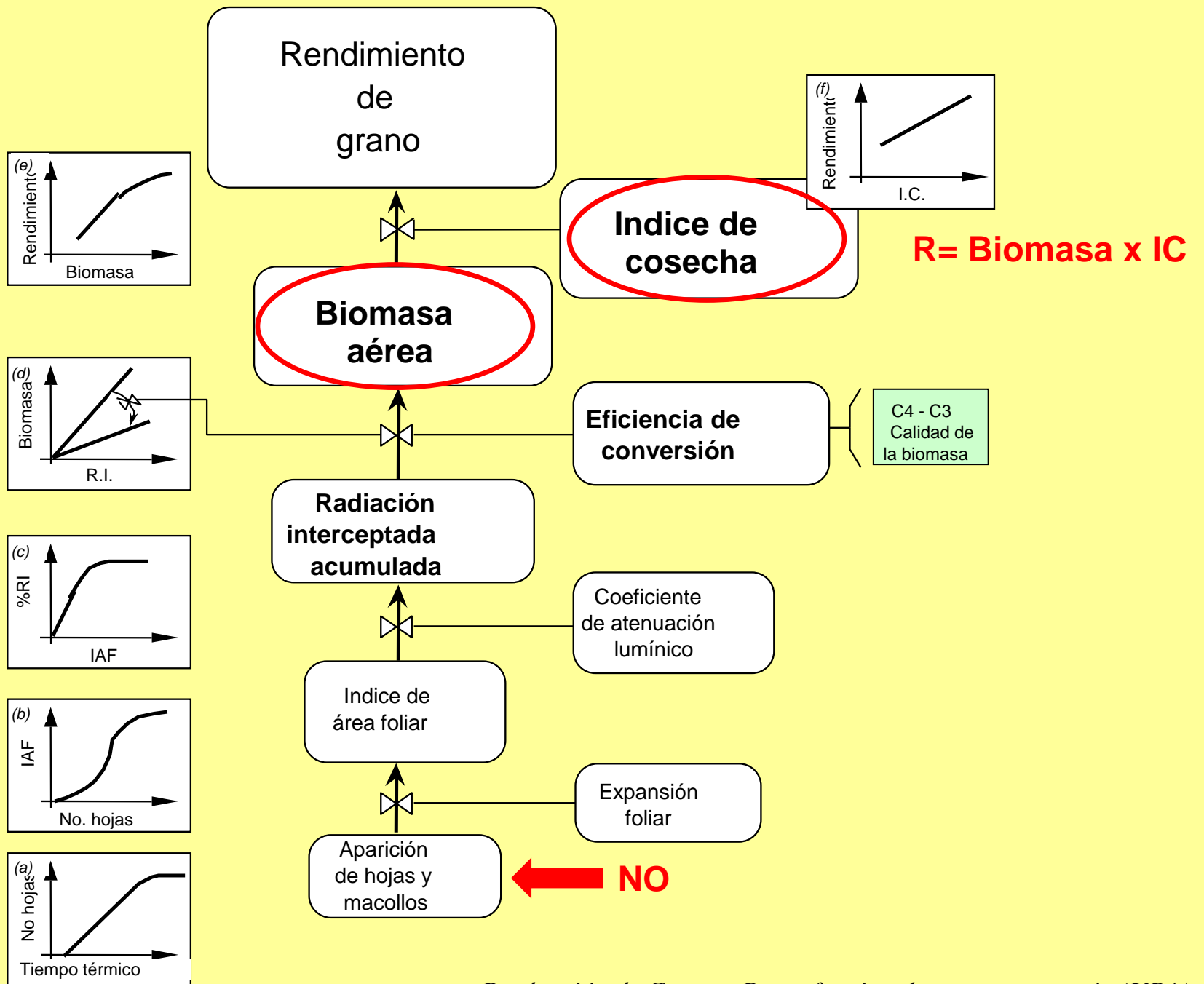
Amplitud fotopériódica en la zona triguera de Chile



Altura de planta en trigos primaverales

2 cultivares y 105 líneas doble haploides





Biomasa e Índice de Cosecha

Cultivar	Biomasa (g m ⁻²)	IC (%)
Bacanora	2325	51
Pandora	2423	44
Weebil	2529	51

Table 1 Comparison of Aboveground Dry Matter (AGDM) Production and Dry Matter Partitioning at Harvest in Sets of Winter Wheat Cultivars in the UK with Values of Austin (1980) Corresponding to a Theoretical Maximum HI of 0.62

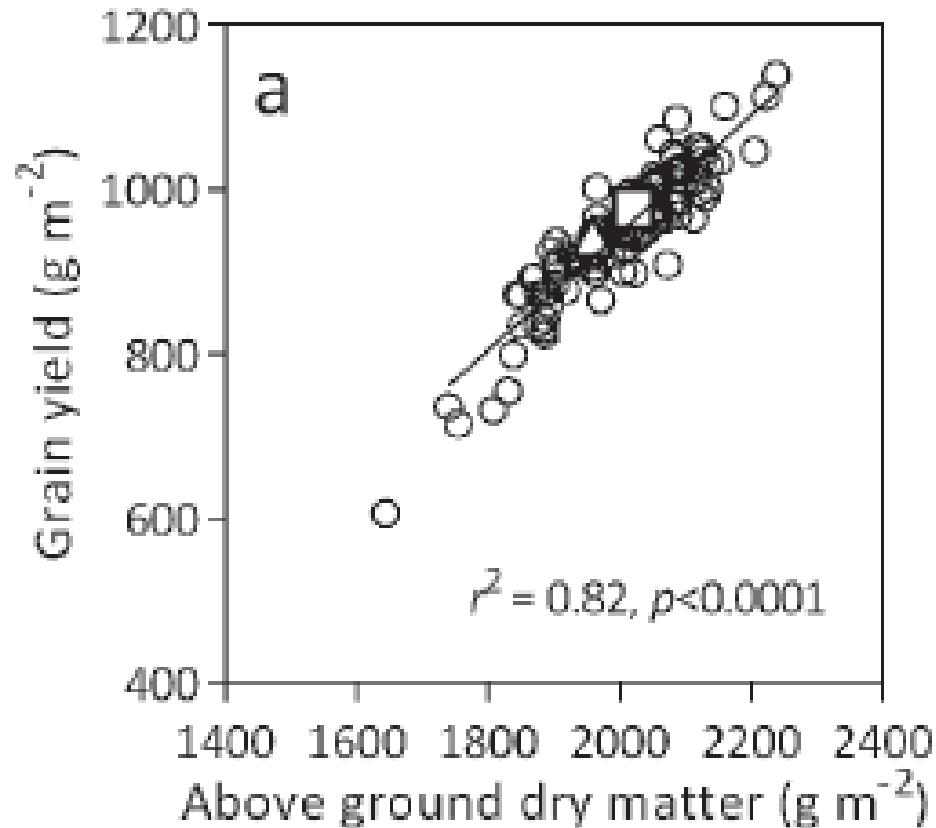
Crop component	Austin et al. (1980) (Four Most Modern Cultivars ^a)		Austin (1980) (Theoretical Maximum HI)		Shearman et al. (2005) (Four Most Modern Cultivars ^b)		Consort ^c Herefordshire, UK mean 1996/1997 and 1997/1998	
	gm ⁻²	%	gm ⁻²	%	gm ⁻²	%	gm ⁻²	%
Grain	707	49	895	62	888	51	1103	56
Chaff	143	10	181	13	171	10	195	10
Leaf lamina	139	10	139	10	151	9	183	9
Stem+sheath	453	31	226	15	538	30	490	25
AGDM	1442	-	1441	-	1748	-	1971	-

^a730/3637, 989/10, Armada, Benoit 10483.
^bRiband, Haven, Brigadier, Rialto.
^cReleased 1996.

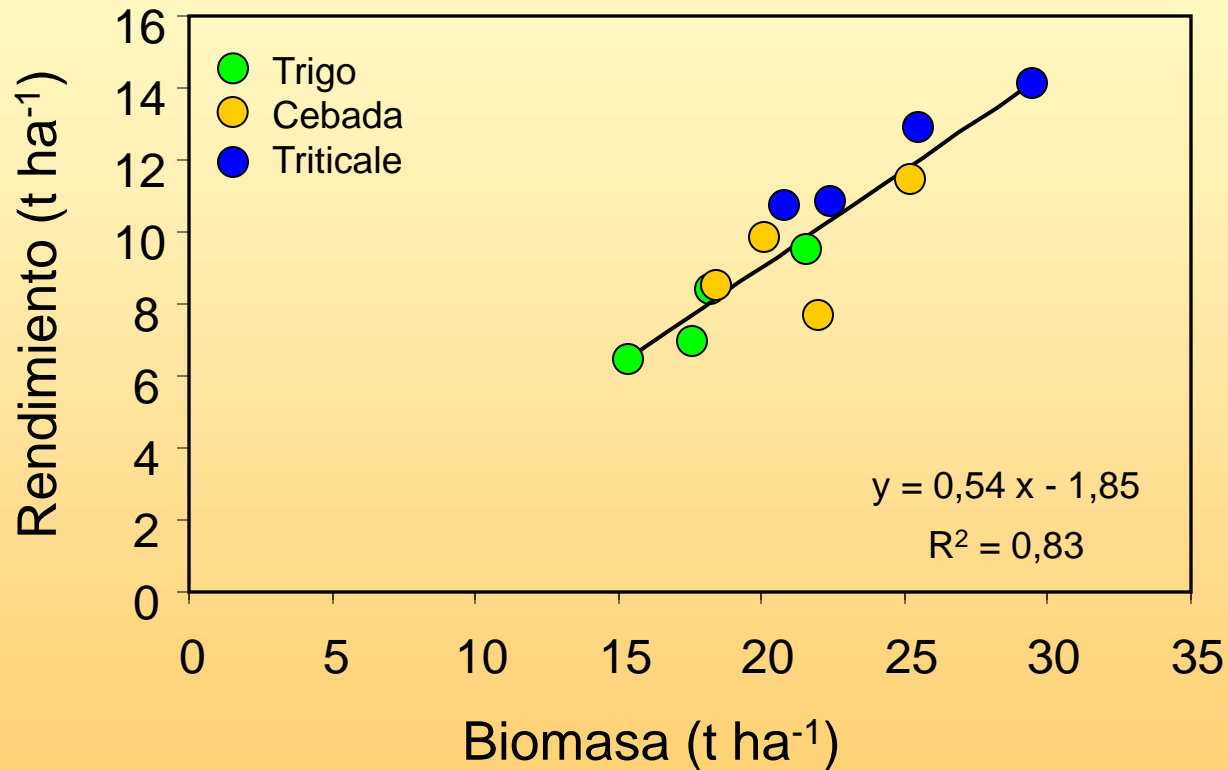
Rendimiento y Biomasa Aérea en trigos primaverales

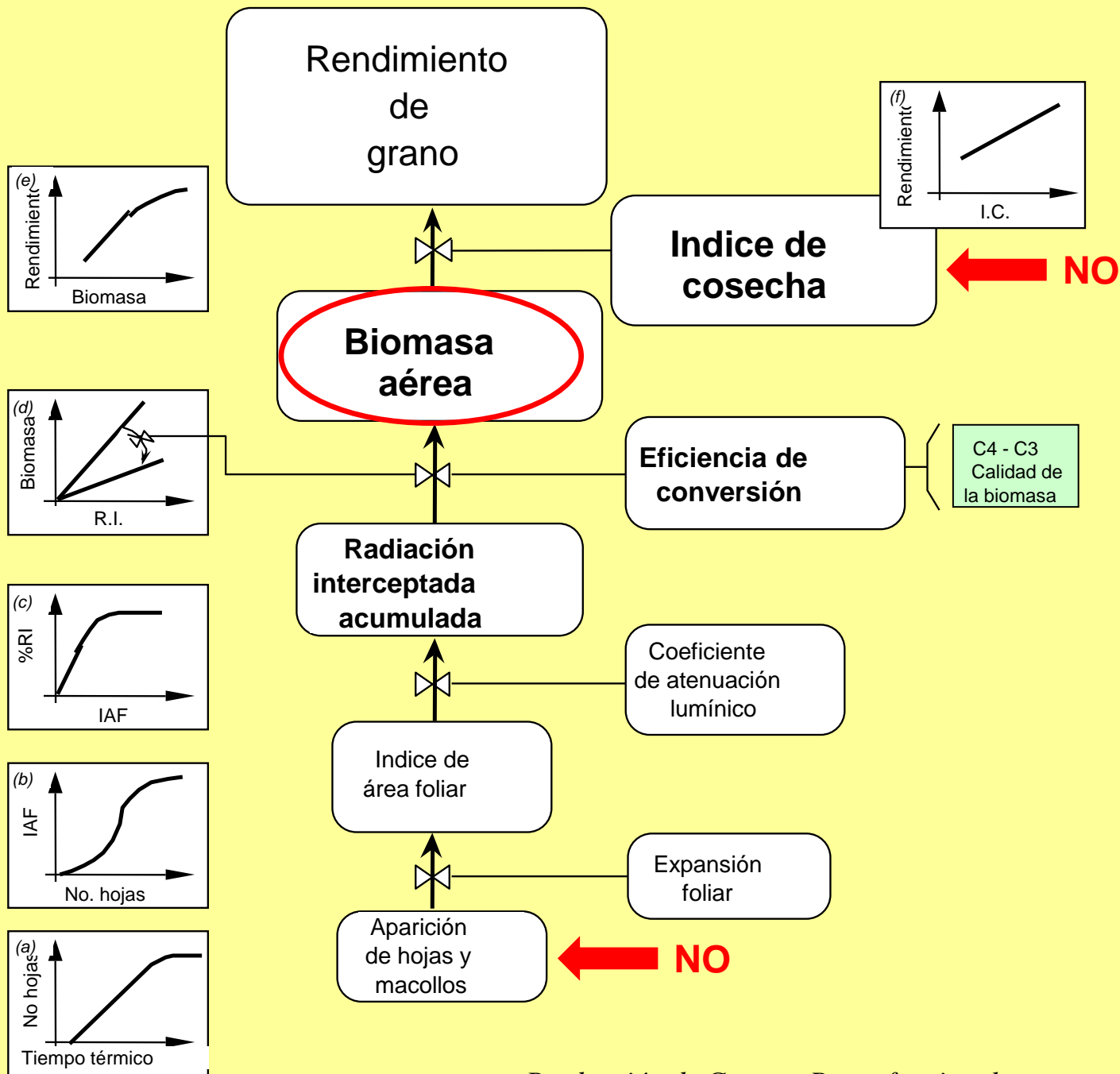
Argentina, Inglaterra, México y Chile

2 cultivares y 105 líneas doble haploides

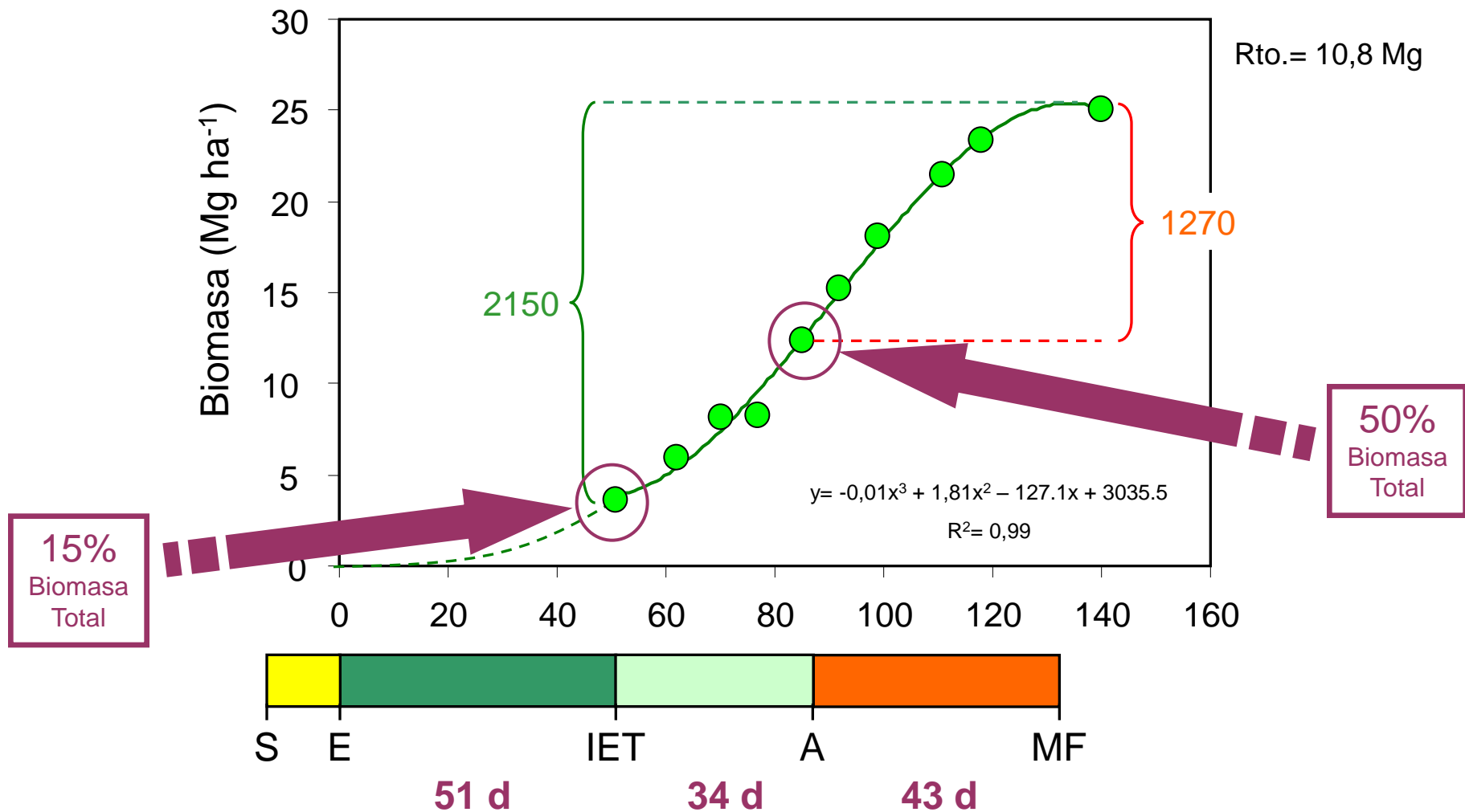


Relación entre el rendimiento y la biomasa aérea en trigo, cebada y triticale



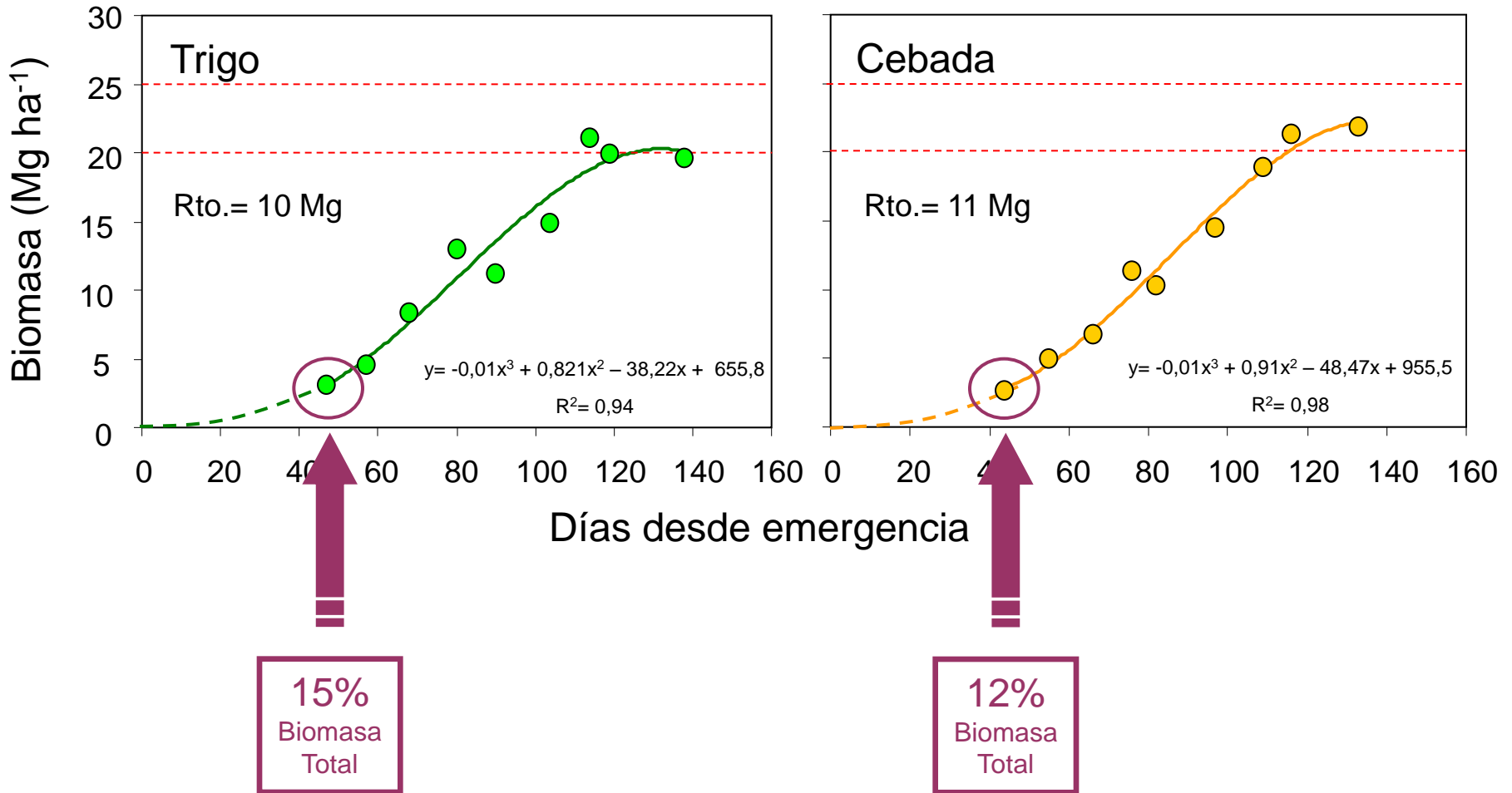


PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN TRIGO



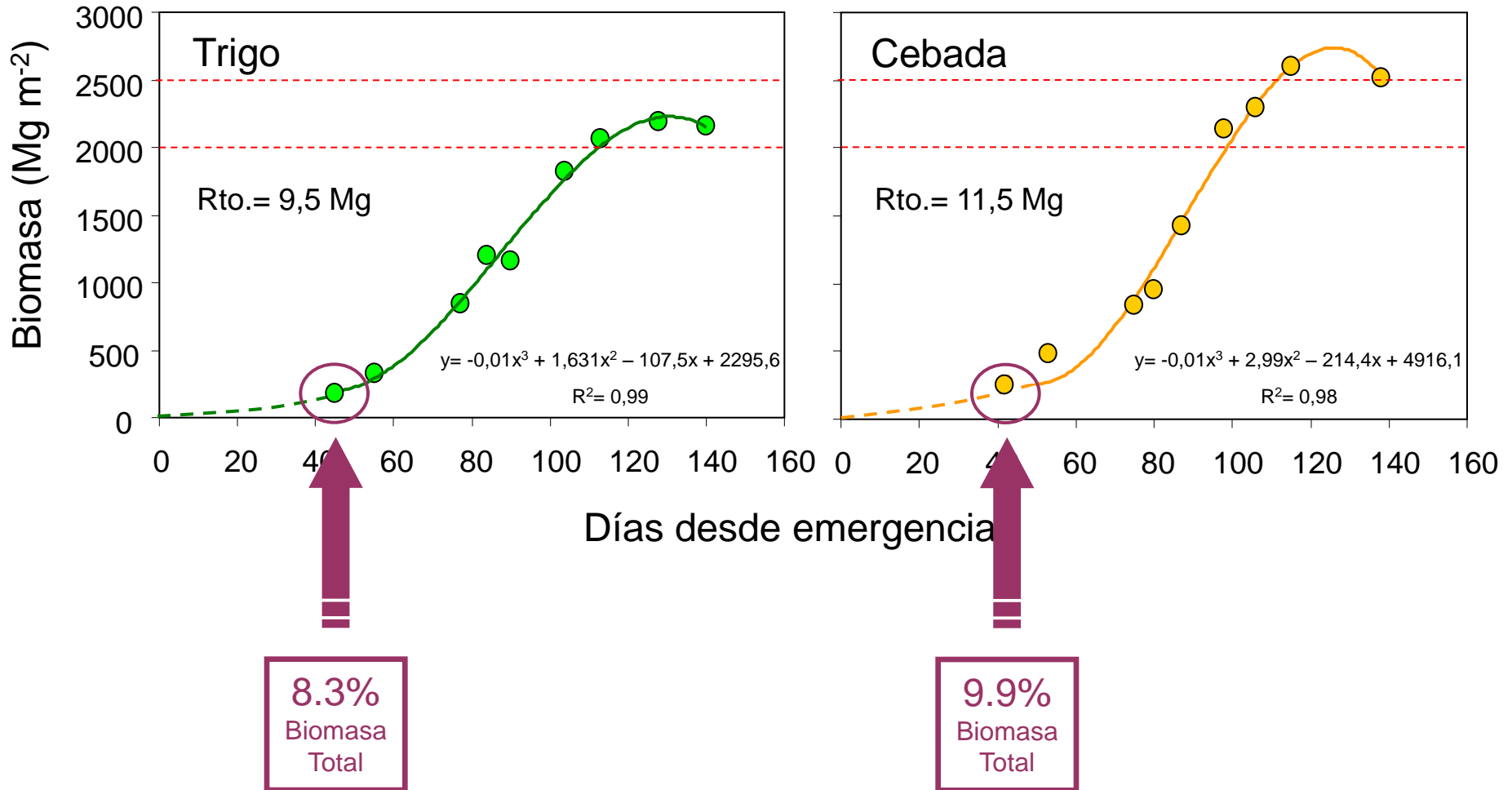
Trigos invernales en Inglaterra tiene una duración de aprox. 7 meses

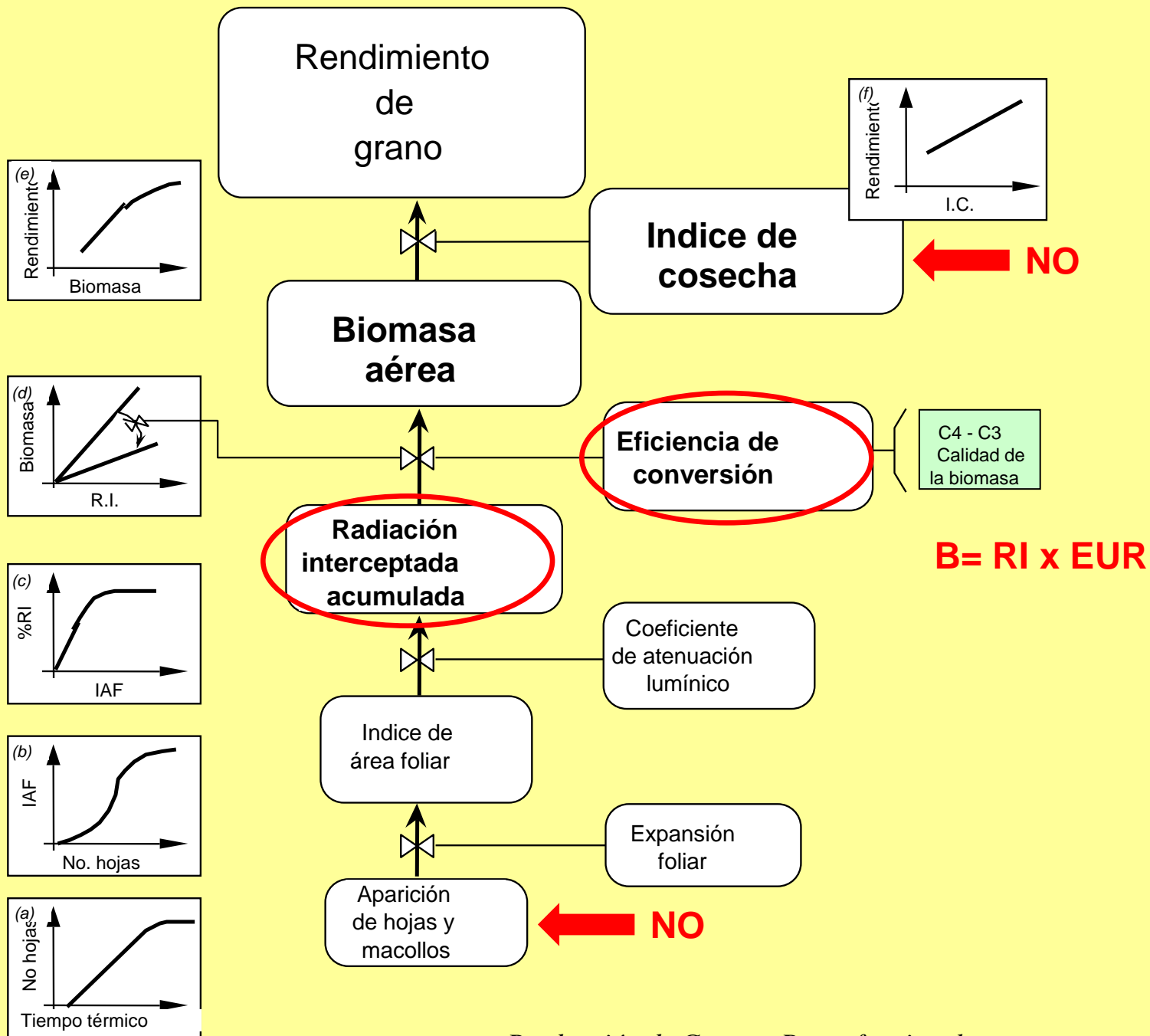
PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN TRIGO Y CEBADA



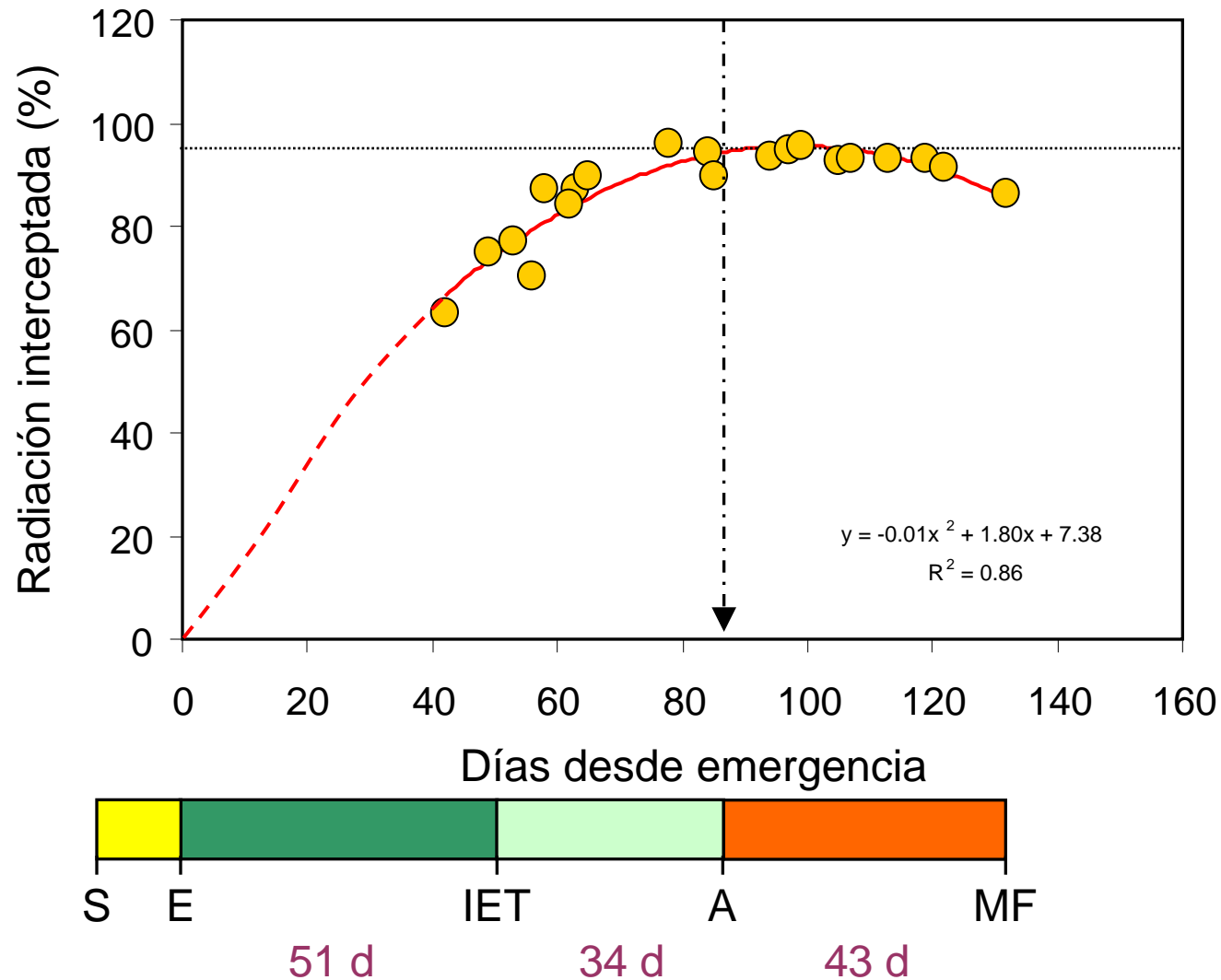
PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN TRIGO Y CEBADA

Tasa de crecimiento fase lineal = 300-320 kg ha⁻¹ d⁻¹

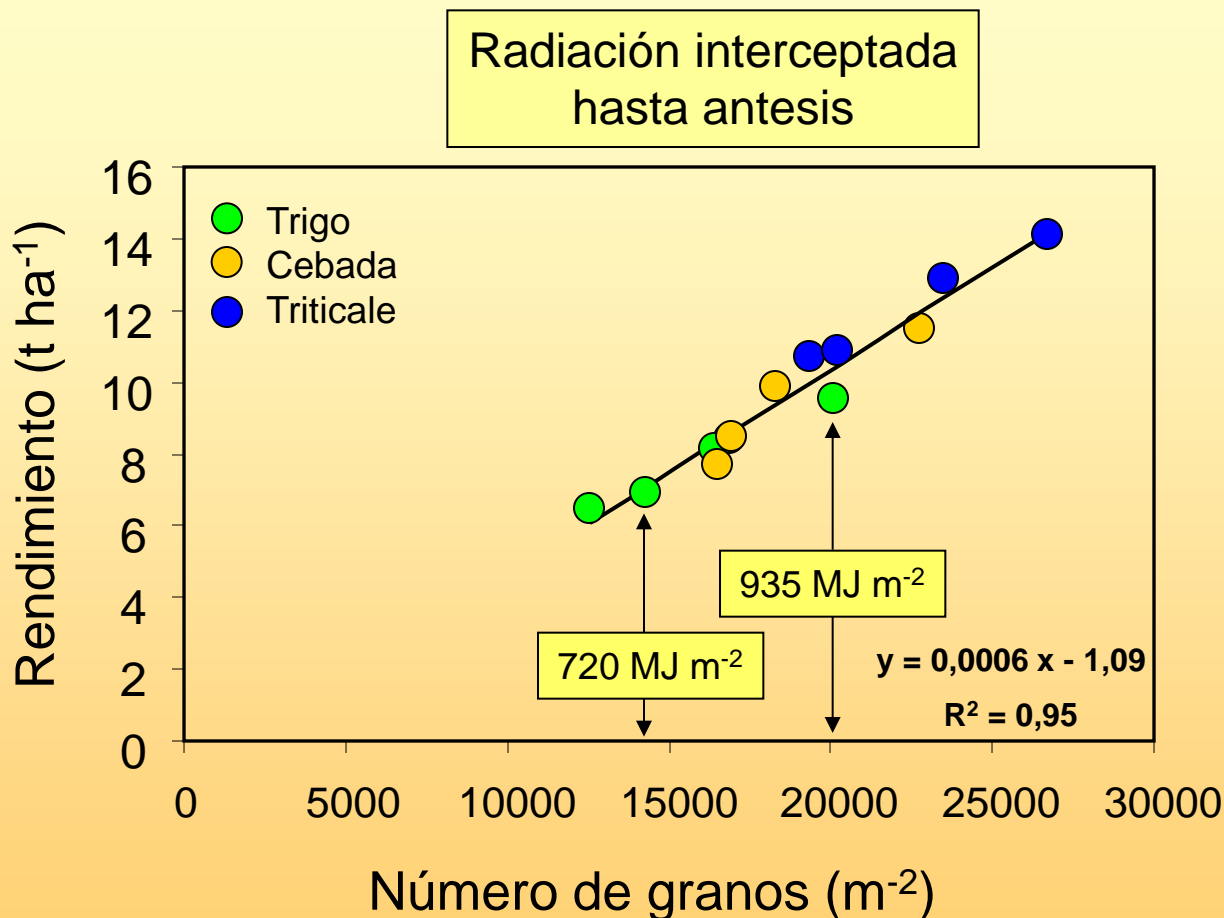




Intercepción de radiación en trigos primaverales

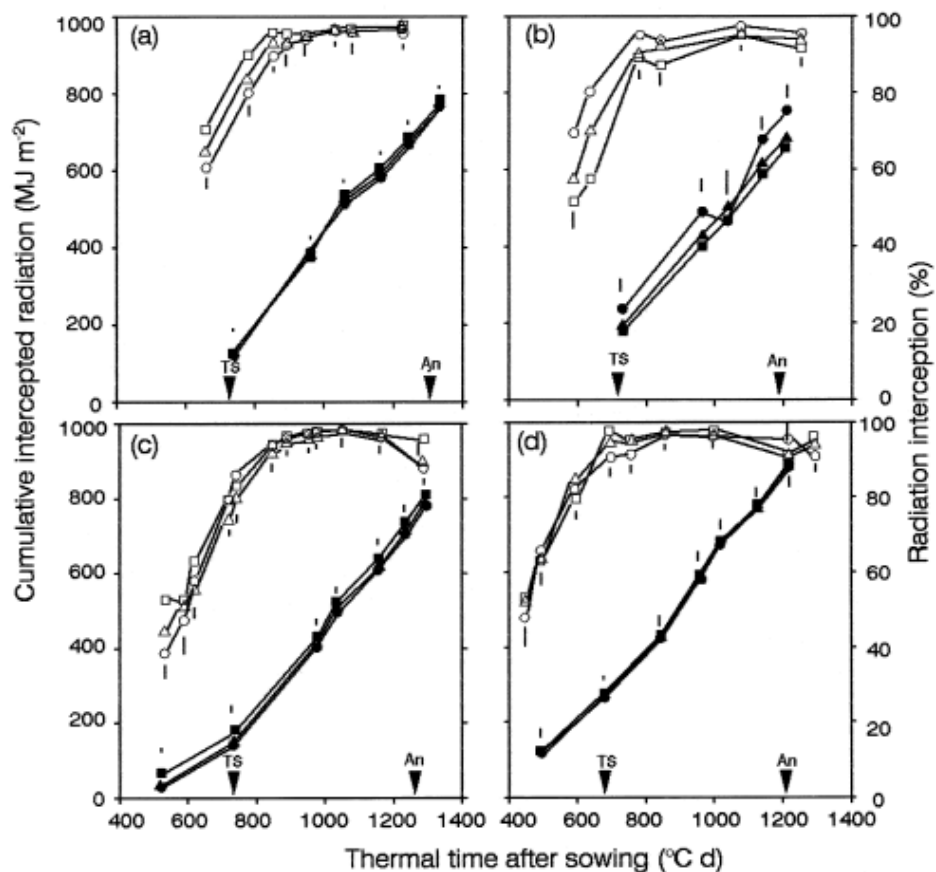


Relación entre el rendimiento y el número de granos en trigo, cebada y triticale



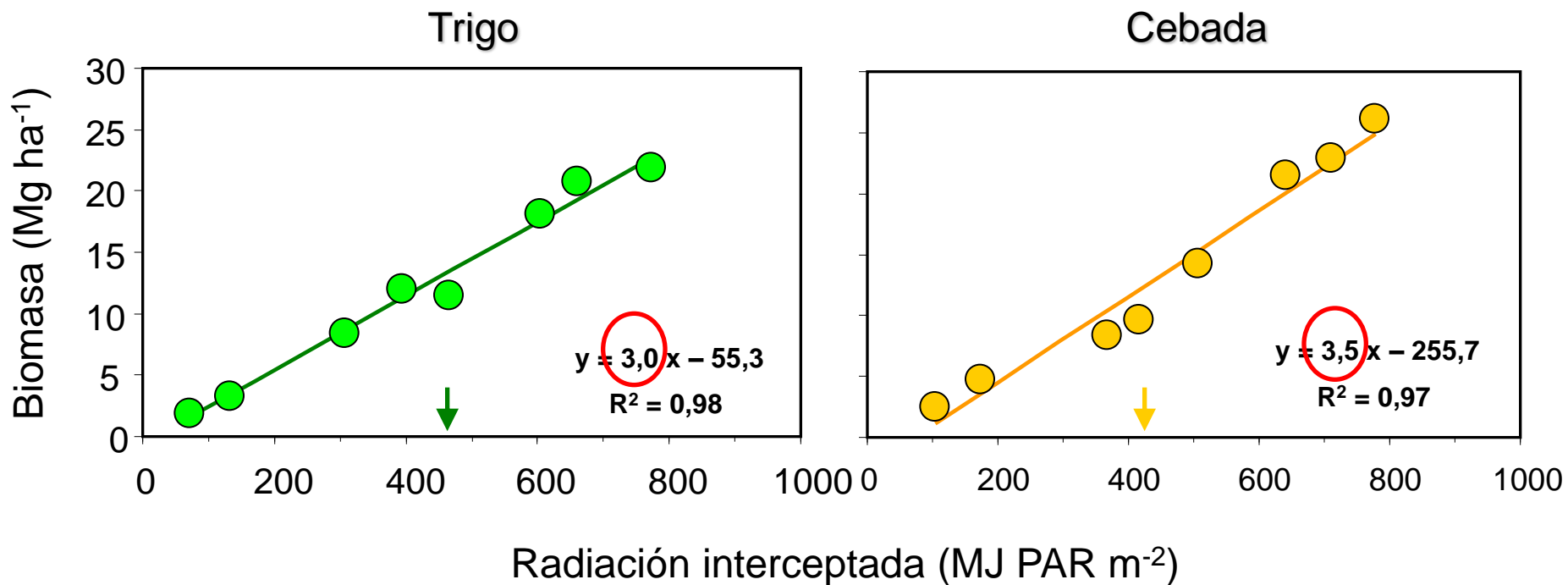
Intercepción de Radiación en Trigo

Cultivar	RI hasta antesis (MJ m ⁻²)
	<i>Bs. As.</i>
Klein Favorito	1194
Pigue	952
Oasis	920
	<i>Valdivia</i>
Trigo	884
Cebada	960

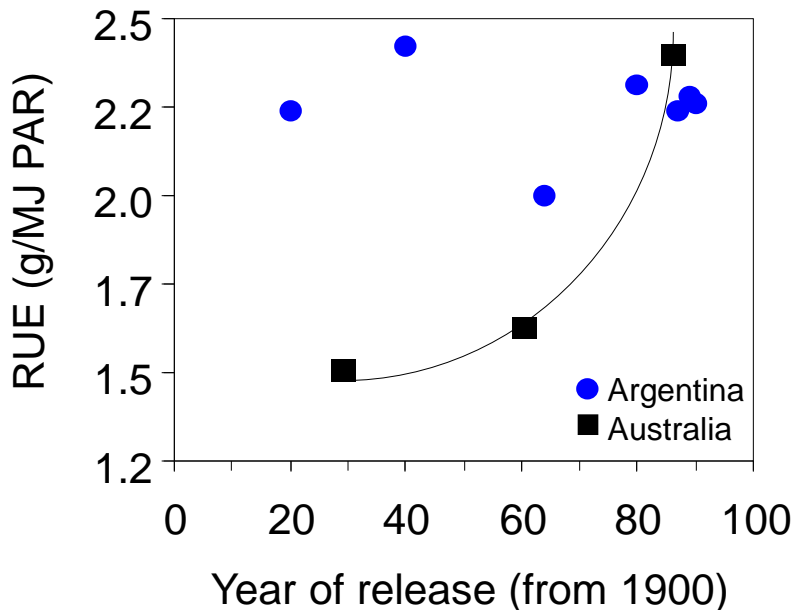


Eficiencia de Uso de Radiación en Trigo y Cebada

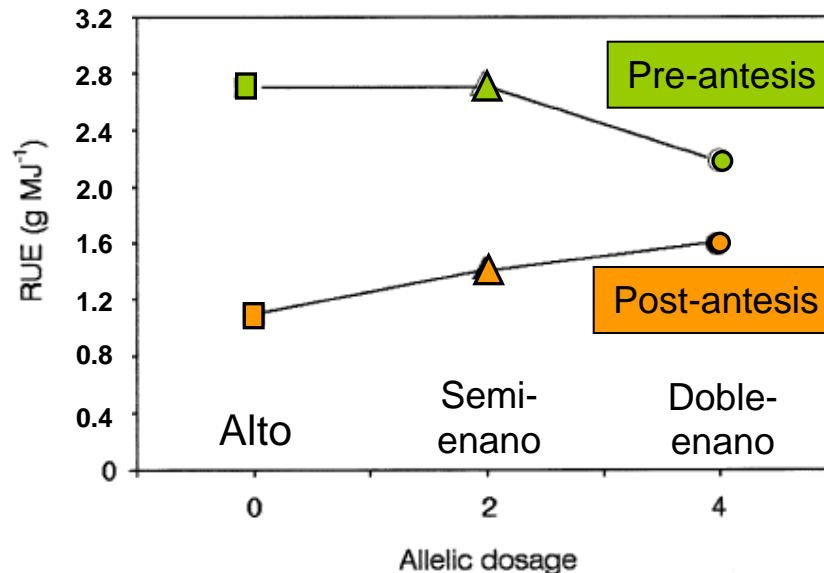
Zona Sur



Eficiencia de Uso de Radiación en Trigo (Otros estudios)



Calderini, Reynolds & Slafer (1995)
Wheat. Ecology and Physiology of Yield Determination



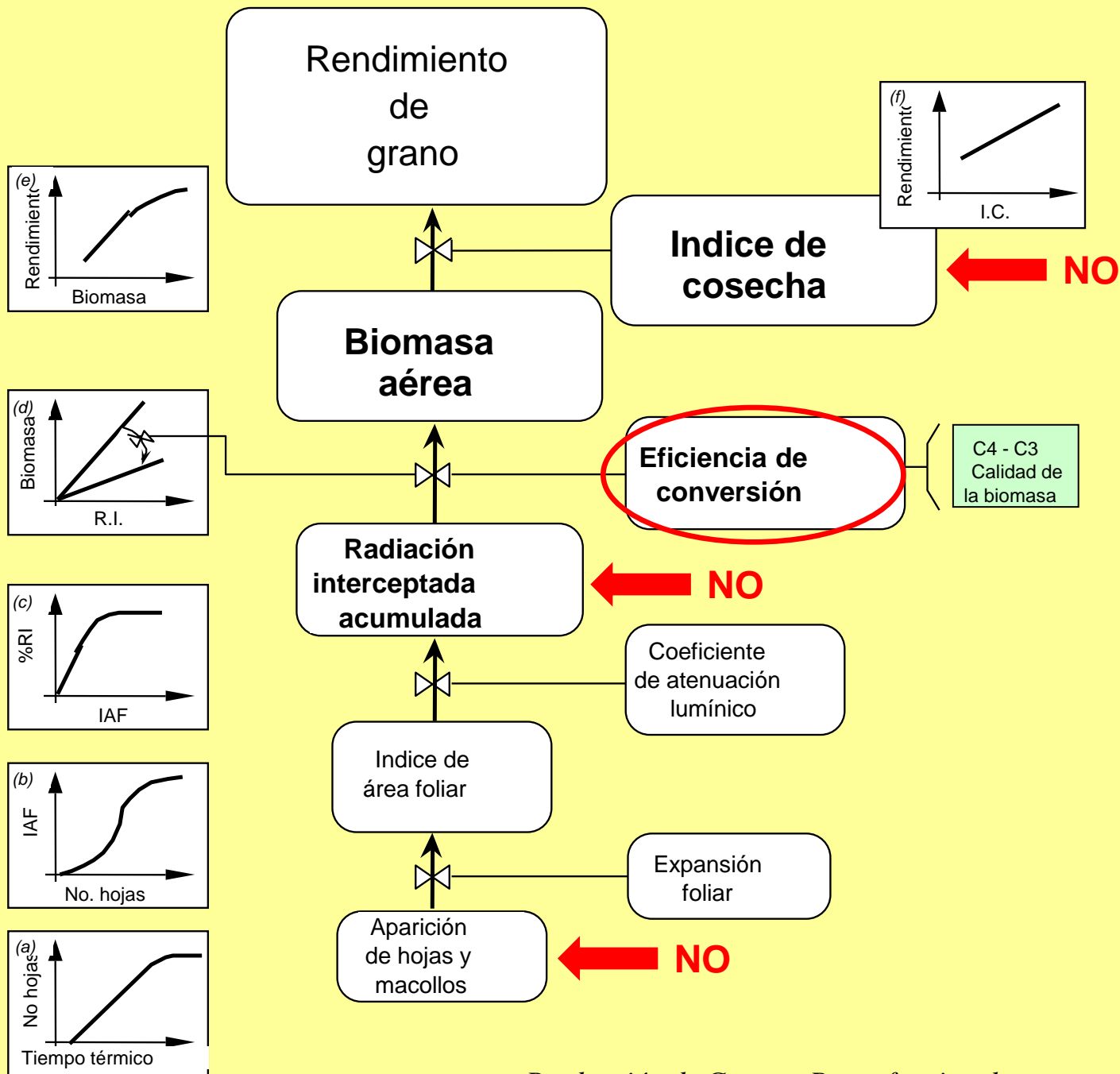
Miralles & Slafer (1997)
Euphytica

Cultivar	EUR (g MJ ⁻¹)	
	Pre-antesis	Post-antesis
Pandora	3,2	1,9
Invento	2,9	2,1

Eficiencia de Uso de Radiación en Cebada (Otros estudios)

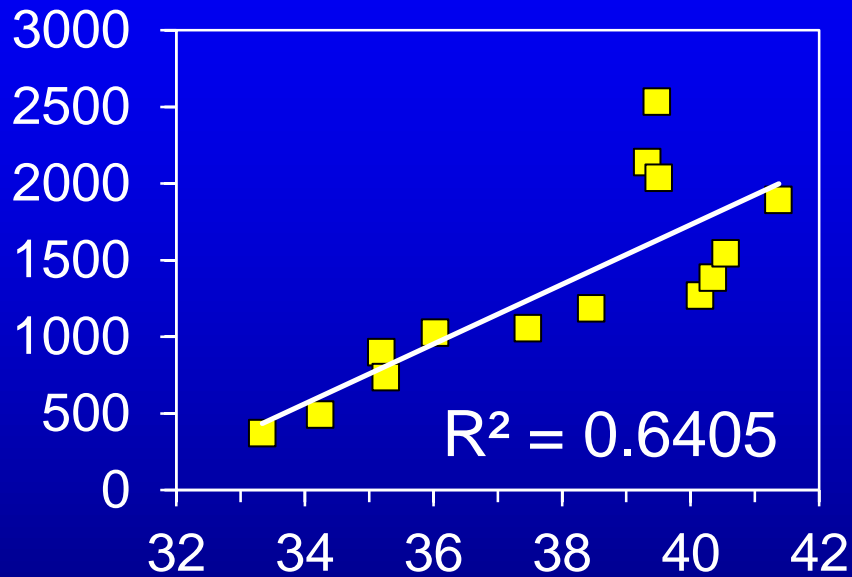
Cultivo	Cultivar o localidad	RUE _{pre}	Fuente
Cebada	Scarlett	2.1	<i>Muurinen y Peltonen-Sainio, 2006</i>
	Baronesse	2.4	<i>Kemarian et al, 2004</i>
	Steptoe	2.5	<i>Kemarian et al, 2004</i>
Cebada invernal	6 localidades*	2.6	<i>Bingham et al, 2007</i>
	Rendimiento	7.0 Mg ha ⁻¹	

* Aberdeen, Edinburgh, High Mowthorpe, Rosemaund, Sutton Bonington y Knigs Lynn

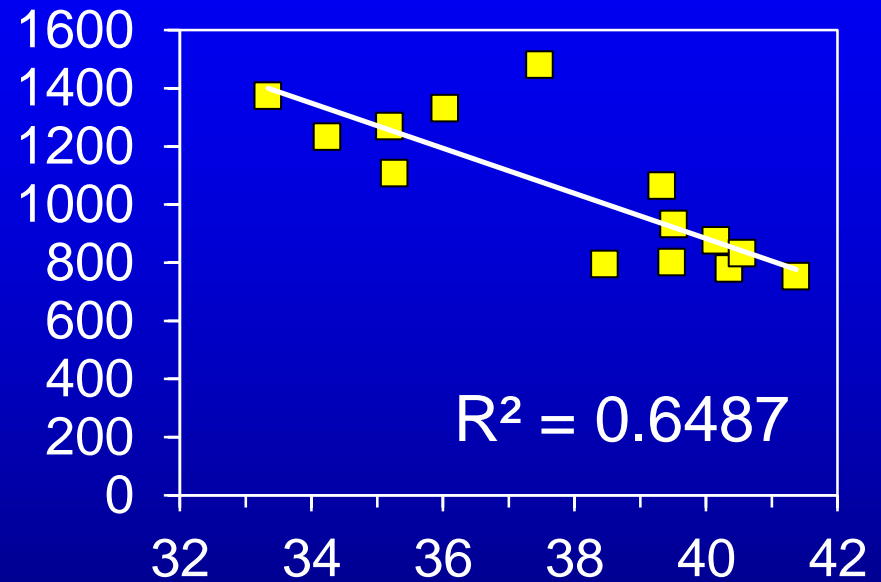


Precipitaciones y evaporación en la zona triguera de Chile

Precipitaciones

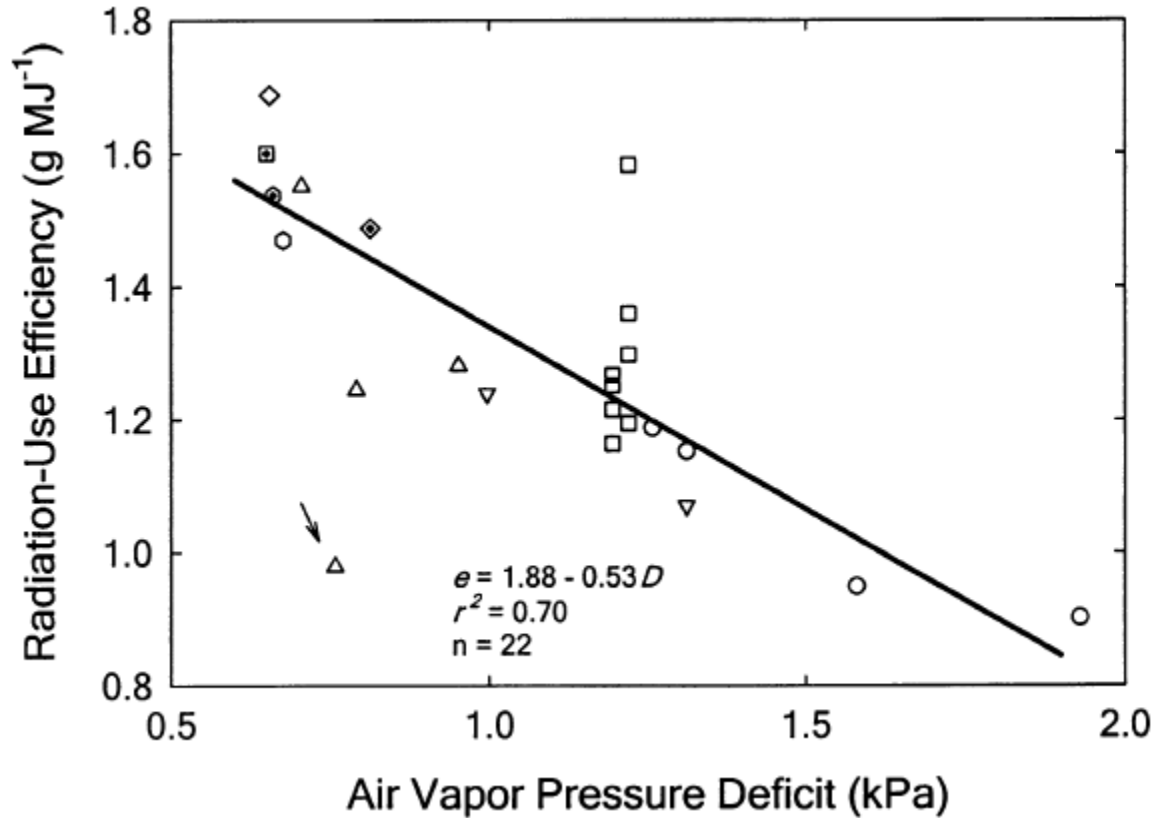


Evaporación

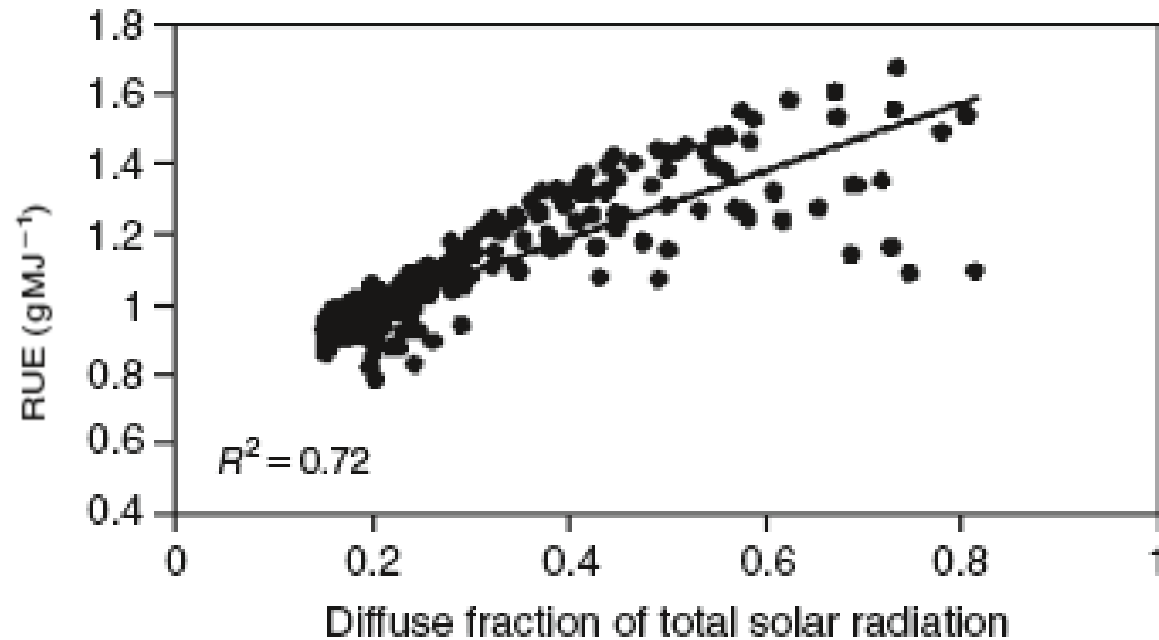


Latitud sur

Efecto del déficit de presión de vapor sobre la EUR (datos de trigo y cebada)



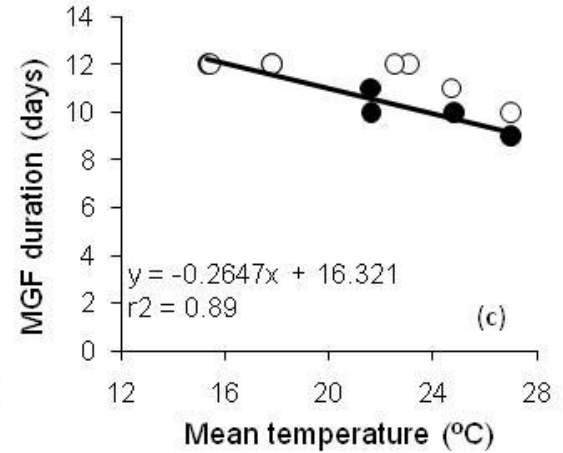
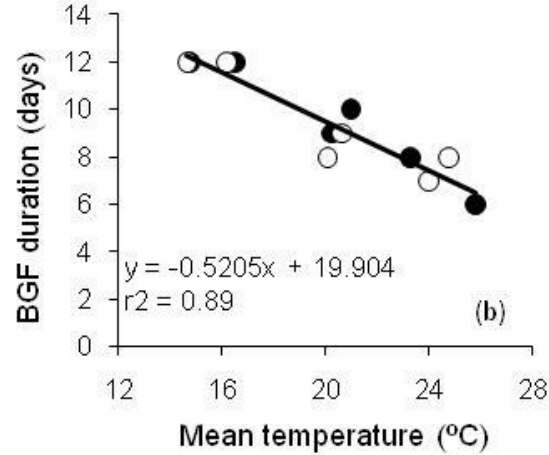
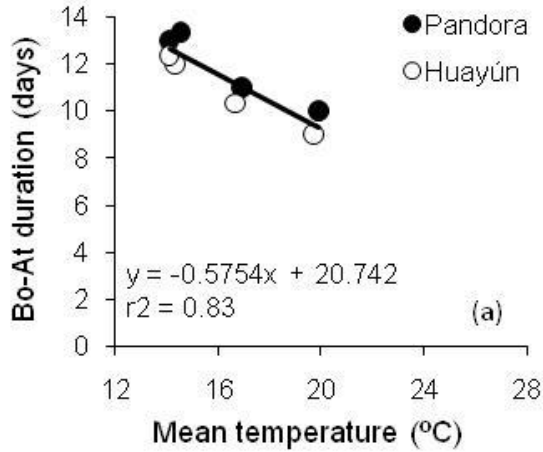
Efecto de la radiación difusa sobre la EUR



Stockle & Kemanian et al. (2009)
Crop Physiology. Applications for ...

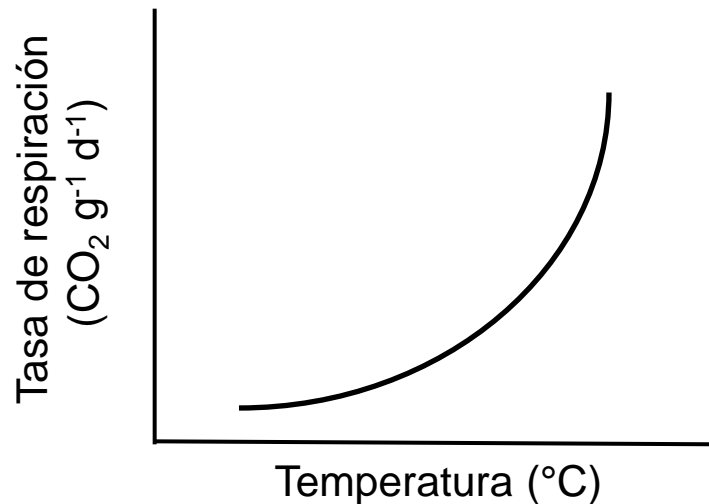
El doble efecto de la temperatura

- Aumenta la tasa de desarrollo del cultivo (reduce la duración)



Lizana & Calderini (2013)
Journal of Agricultural Science

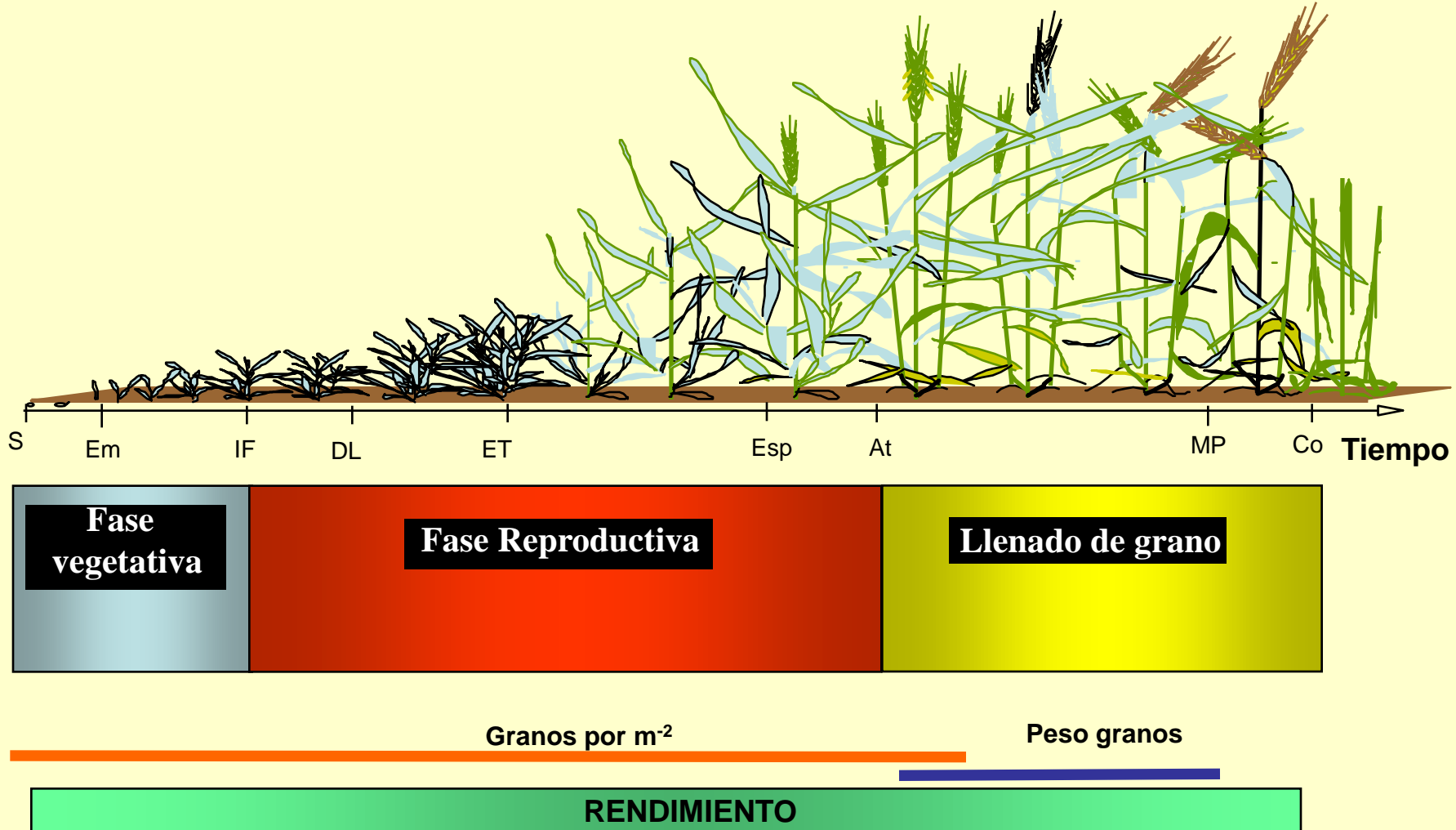
- Aumenta la tasa de respiración (reduce la biomasa)



Efecto de las temperaturas nocturnas

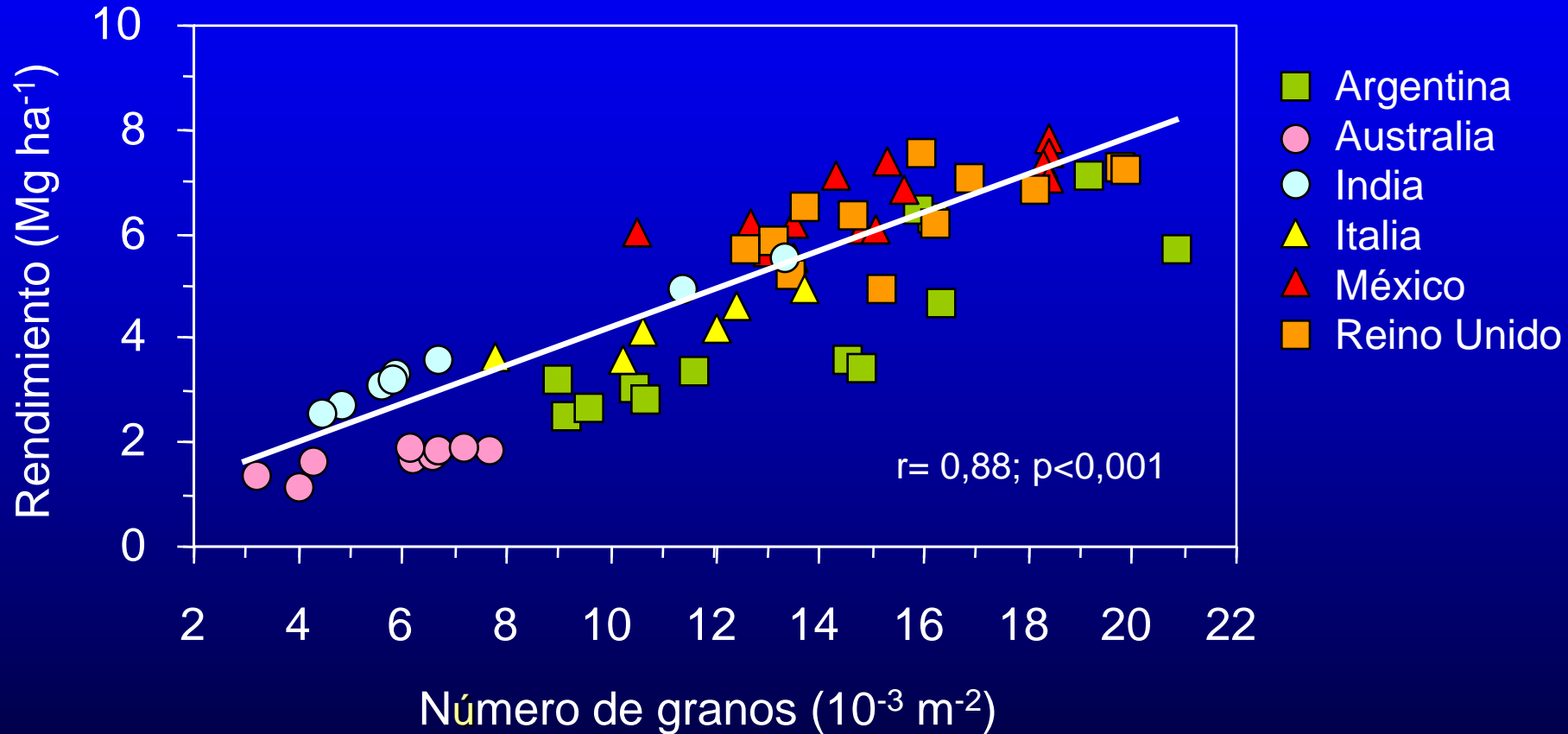
Period		Expt 1				Expt 2			
		T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	PAR (MJ m ⁻²)	Rainfall (mm)	T _{max} (°C)	T _{min} (°C)	PAR (MJ m ⁻²)	Rainfall (mm)
Aug.	1–10	11.7	6.2	2.1	159.9	10.6	0.7	3.2	118.0
	11–20	12.9	5.1	3.3	133.3	11.9	1.6	4.0	96.9
	21–31	15.5	4.0	4.5	24.2	12.5	3.2	4.8	47.8
Sept.	1–10	14.4	5.3	4.4	129.0	12.7	8.1	2.2	142.6
	11–20	15.0	3.9	6.0	6.2	16.3	4.0	6.7	21.2
	21–30	16.0	7.3	5.0	47.9	15.9	5.2	8.2	11.8
Oct.	1–10	15.3	6.3	5.2	59.6	16.7	6.3	6.6	14.4
	11–20	17.2	6.2	8.1	61.7	15.8	8.3	5.9	120.1
	21–31	16.6	7.1	7.6	73.3	17.3	7.6	7.2	67.1
Nov.	1–10	21.1	7.9	10.6	18.1	17.7	7.0	9.7	7.2
	11–20	18.5	7.9	9.8	34.2	19.1	4.6	10.8	24.8
	21–30	20.2	9.2	12.1	2.5	19.9	8.8	10.1	1.9
Dec.	1–10	20.1	8.1	12.8	10.2	18.4	7.6	10.5	40.7
	11–20	18.4	10.6	7.2	98.2	23.1	9.4	13.0	3.5
	21–31	19.9	10.9	8.7	114.5	25.0	11.8	11.3	7.8
Jan.	1–10	23.1	10.4	13.5	4.9	23.3	11.7	11.8	23.9
	11–20	25.4	12.1	13.4	0.0	23.9	11.1	10.5	15.3
	21–31	22.0	11.4	11.0	27.3	28.3	13.8	11.1	0.0
Feb.	1–10	26.3	11.2	12.8	0.0	28.7	13.8	11.6	0.0
	11–20	20.8	11.0	8.6	40.8	26.0	11.7	10.3	5.3
	21–28	21.0	9.9	9.1	2.6	28.8	15.0	10.2	0.0

Ciclo del Cultivo de Trigo



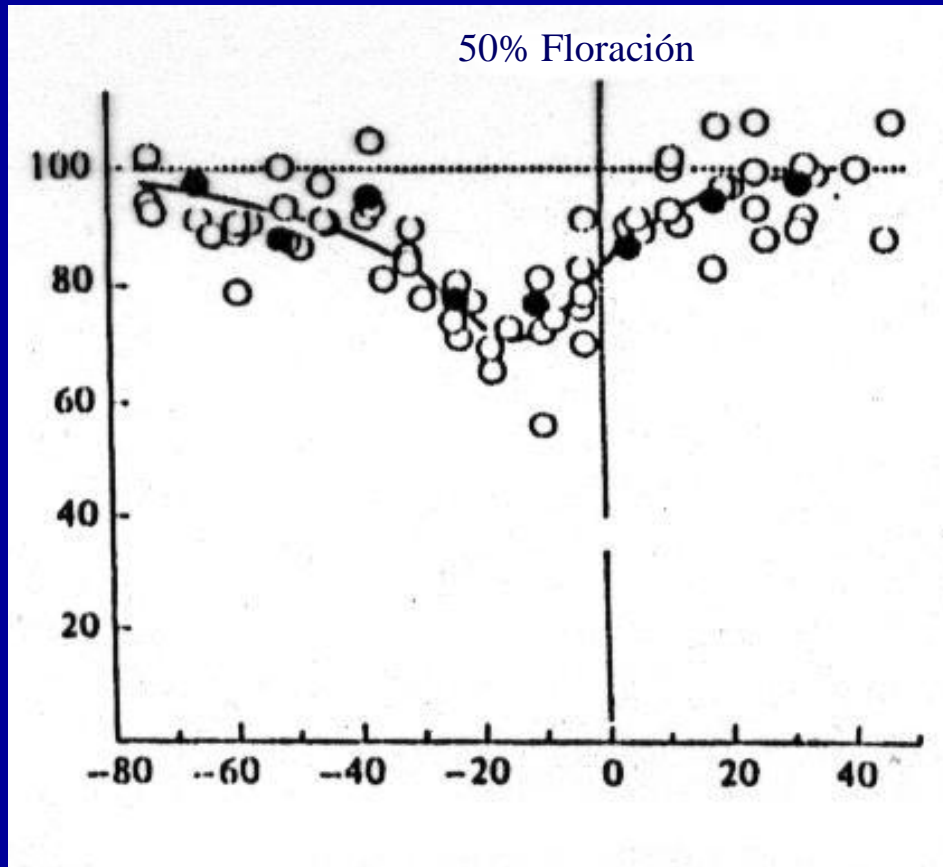
Adaptado de Slafer y Rawson (1994)

Relación entre el Rendimiento y el Número de Granos



Período crítico para el número de granos en trigo

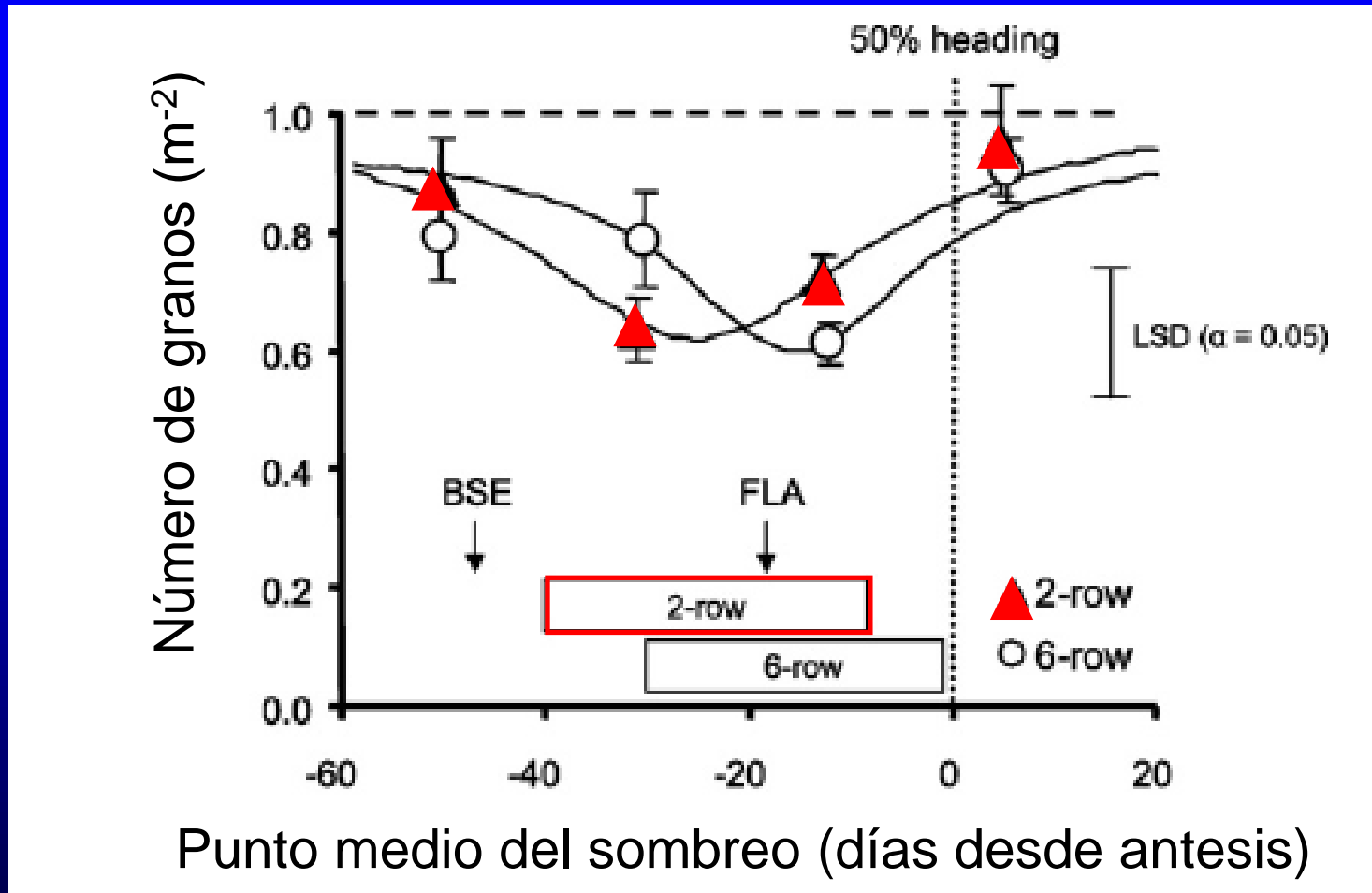
Numero de granos
(% respecto del testigo sin sombra)



Días respecto del 50% floración

Periodo crítico en trigo se ubica aproximadamente 20 días previos y 10 días posteriores a la floración

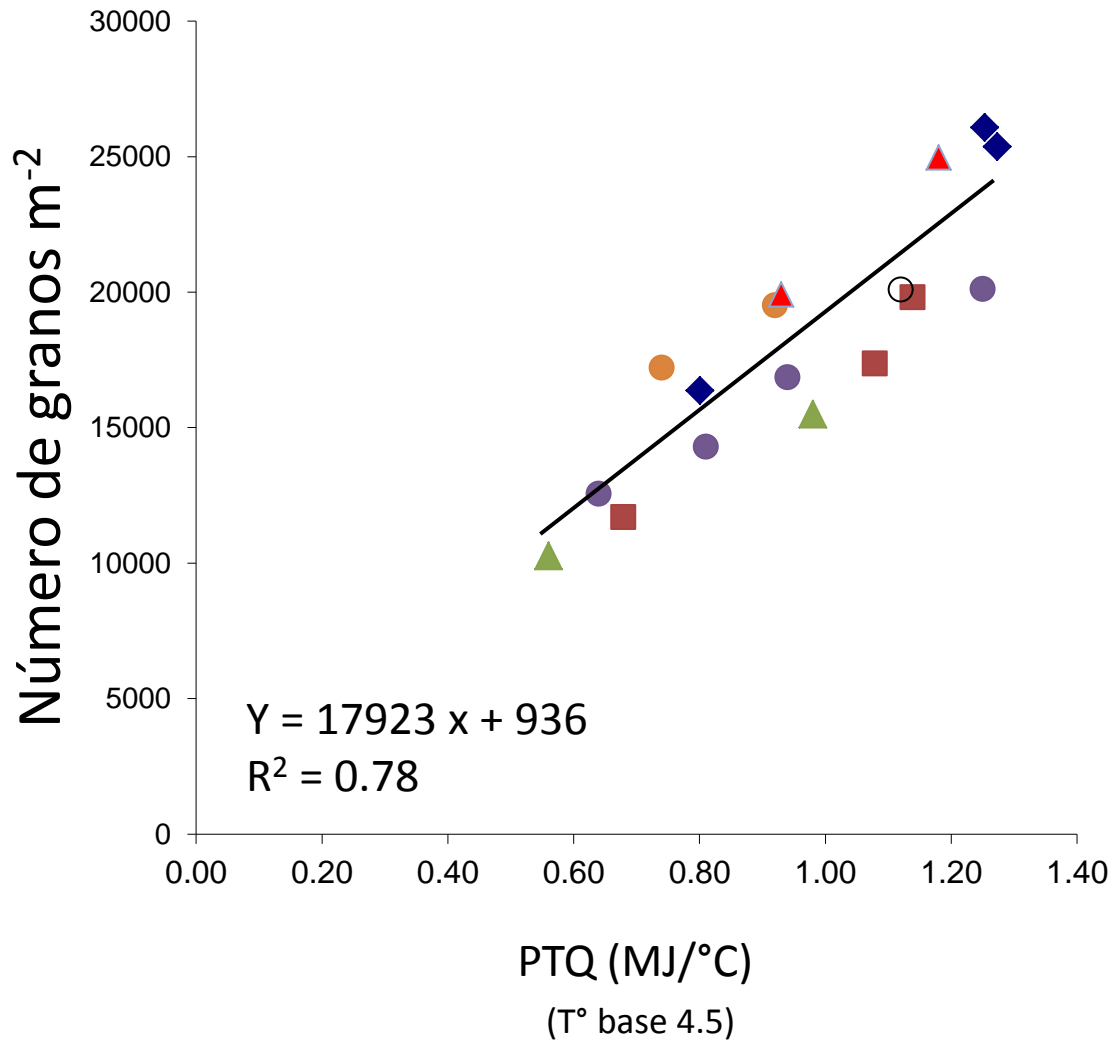
Período crítico para el número de granos en cebada



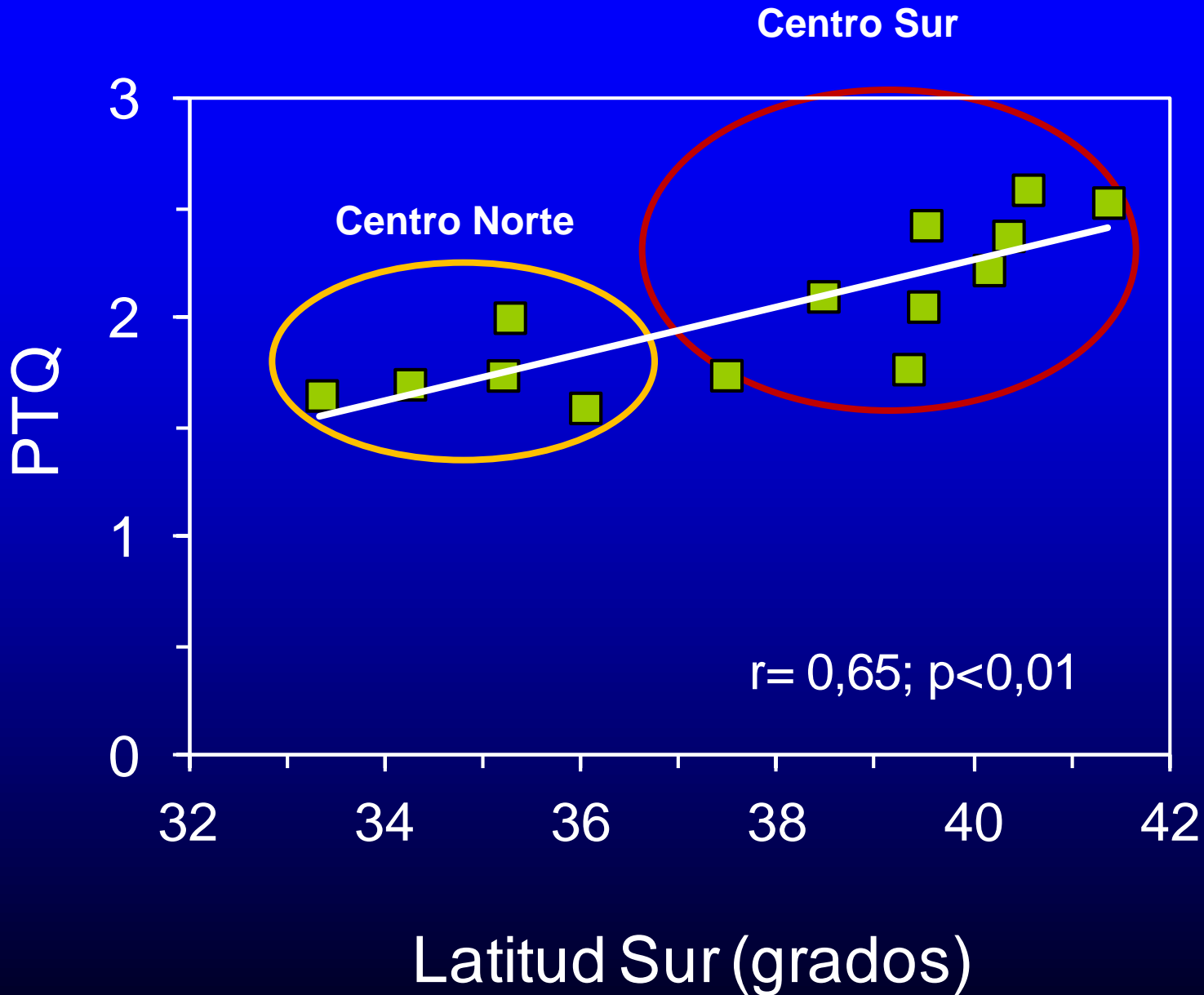
Cuociente Fototermal

$$\text{Cuociente Fototermal} = \frac{\text{Radiación}}{\text{Temperatura}}$$

{ Temperatura media – Temperatura base (4,5°C)
{ Periodo: 20 días pre-antesis – 10 días post-antesis



Cociente Fototermal en la zona triguera de Chile



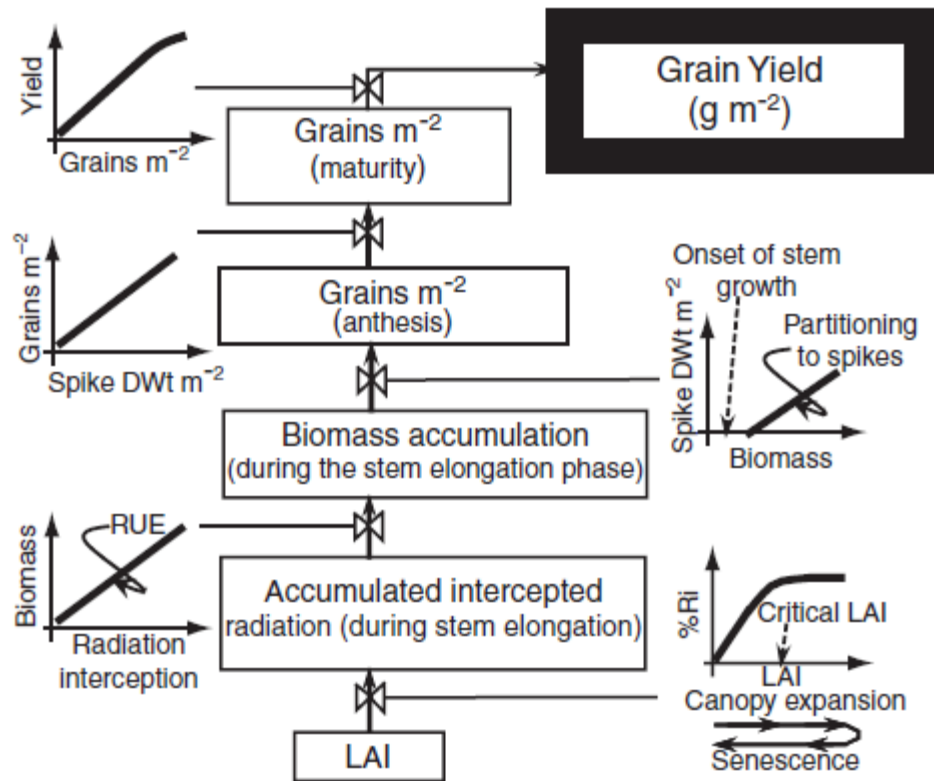
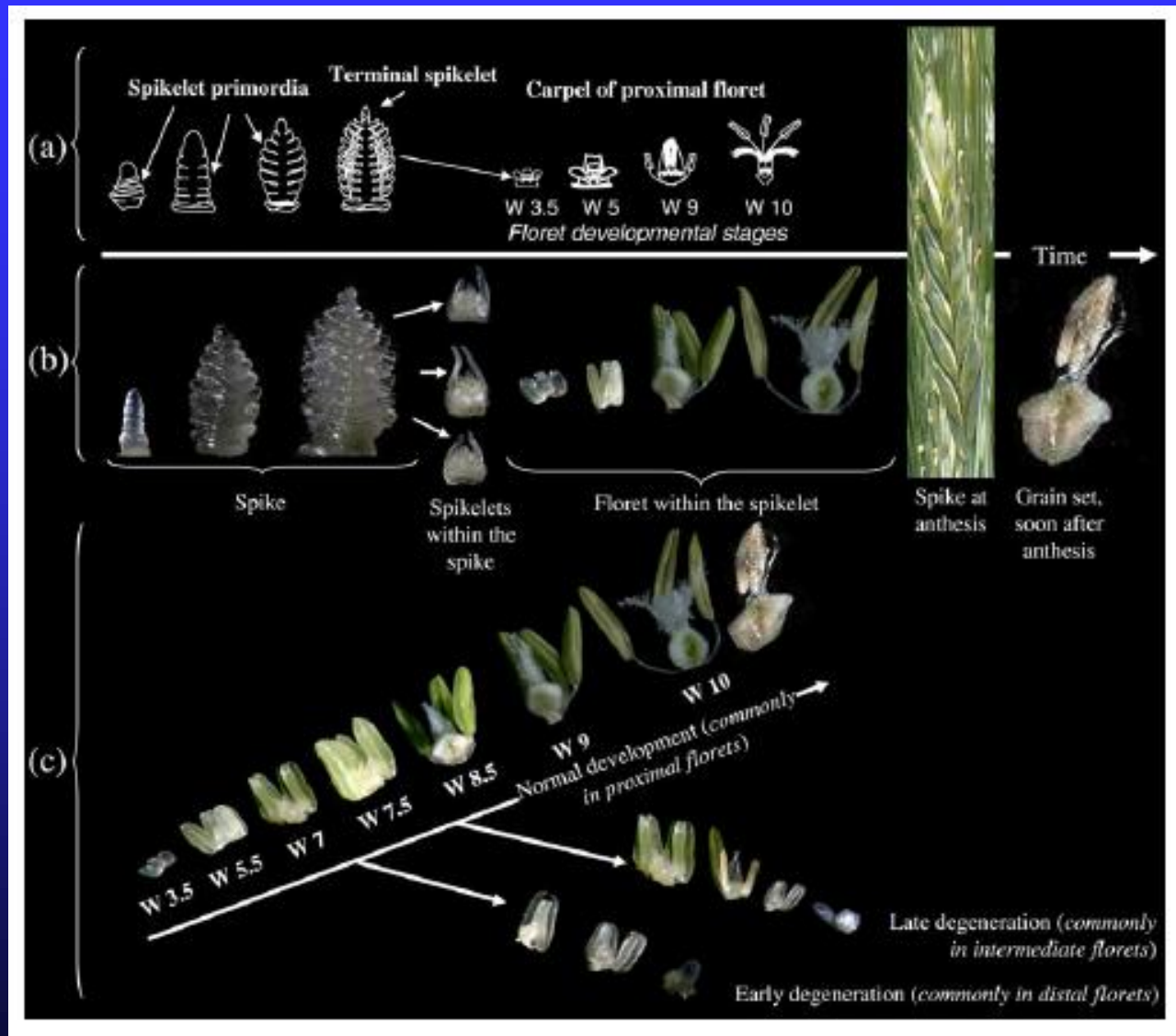


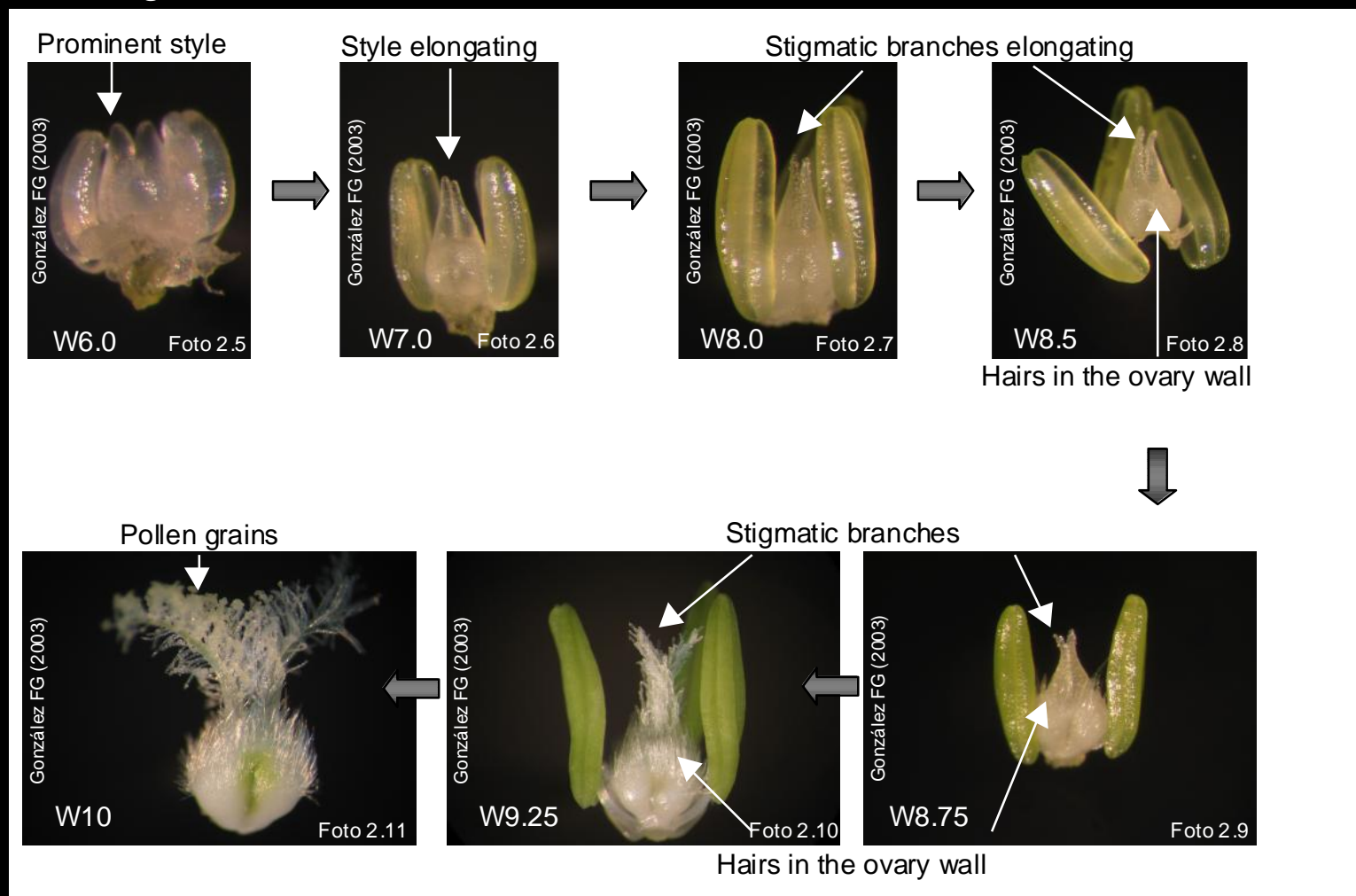
Fig. 2 Mechanistic model for understanding the physiological bases of grain yield. This model takes into account the phases in which yield have been found to be most responsive to environmental and genetic changes. Briefly, if critical LAI maximizing radiation interception is reached by the timing of the onset of stem elongation, then the maximum biomass accumulation during this period could be achieved for that particular environment. Then a proportion of biomass accumulated by the crop during that phase (of approximately 3–4 weeks) immediately preceding anthesis is partitioned into the spike allowing a particular level of spike dry matter at anthesis, largely determining grain number and yield.

Spike and floret development in wheat



DESARROLLO FLORAL DURANTE EL PERIODO DE CRECIMIENTO DE ESPIGA

Waddington et al., 1983



**Living or
degenerating florets**

Anthers dehydration

Degenerating floret

Complete dehydration

Degenerating floret

NP+6

Styles elongating

Anthers
(turning
green)

Living floret W7.0

NP+0

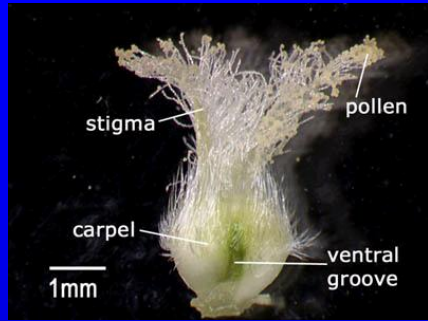
Stigmatic branches elongating

Living floret W8.0

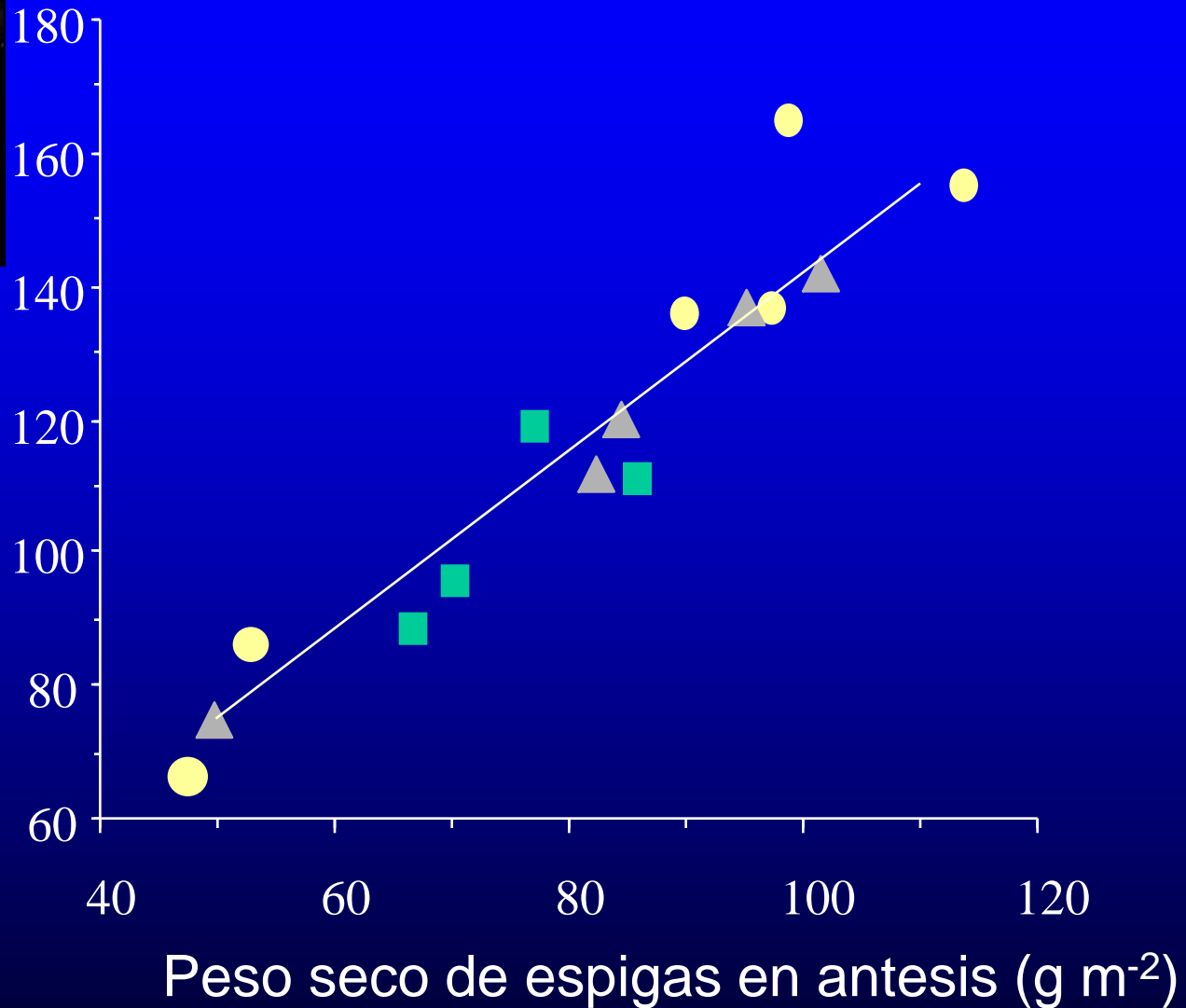
Hairs just differentiating on ovary wall
Living floret W8.5



Flores fértiles y peso de espigas en antesis



Flores fértiles
(No x 100 m⁻²)



Miralles et al. (2000)

Australian journal of Plant Physiology

El número de granos de los cereales de zonas templadas puede calcularse:

$$NG = RAD \cdot RI \cdot EUR \cdot PE \cdot ER$$

NG: granos por metro cuadrado

RAD: radiación incidente desde inicio de encañado hasta antesis

RI: fracción de RAD interceptada (%)

EUR: eficiencia de uso de la radiación

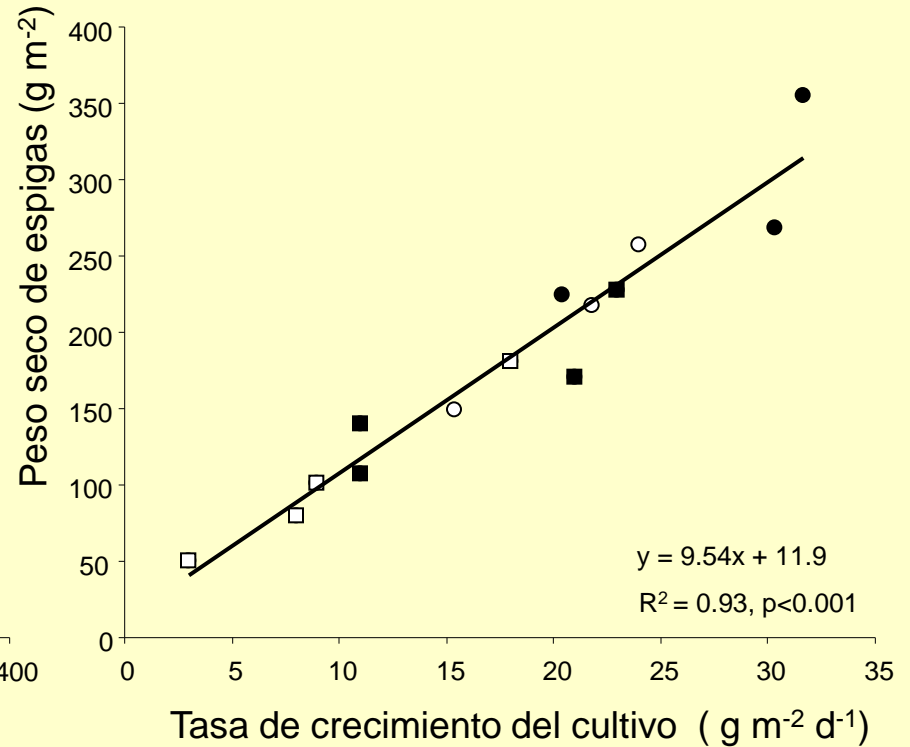
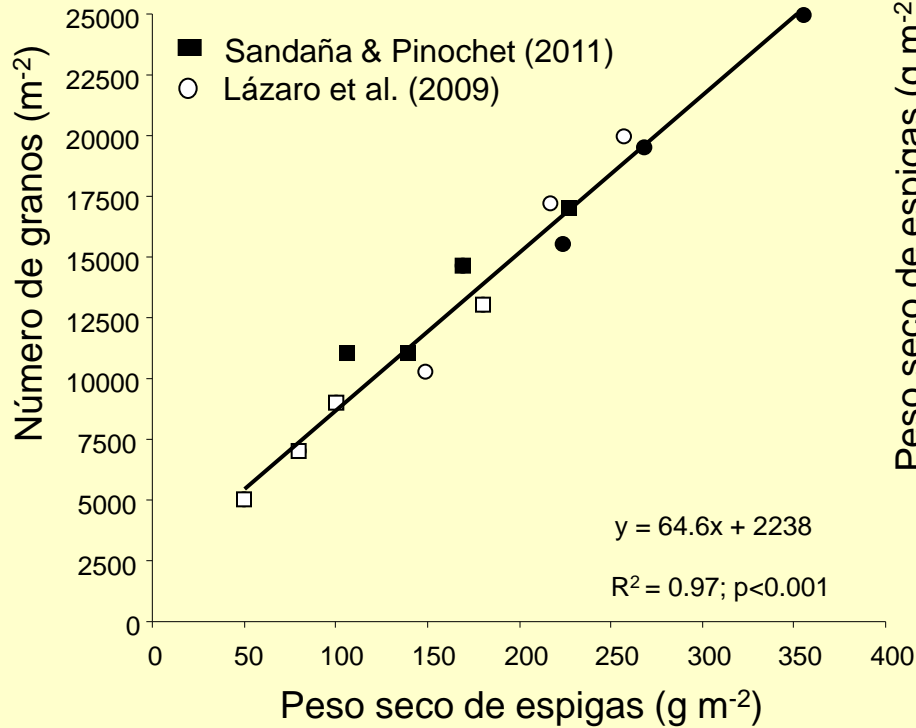
PE: coeficiente de partición a espigas

ER: eficiencia reproductiva (NG/peso de espigas en antesis)

ER Pandora: 6.4-6.6

ER Huayun: 11.1

Relaciones Funcionales con el Número de Granos



Lázaro et al. (2009)
Field Crops Research

Sandaña & Pinochet (2011)
Field Crops Research

Rendimiento

=

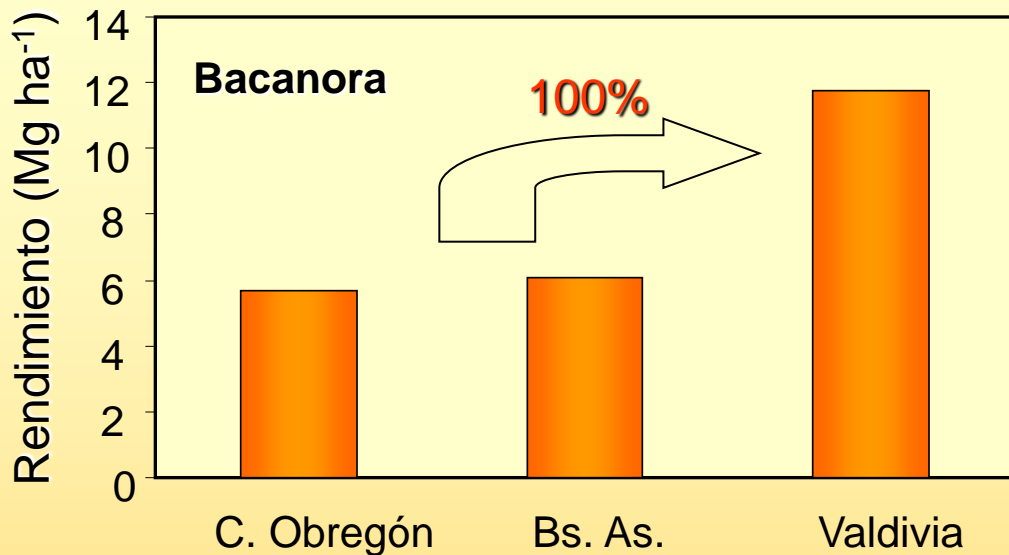
Granos m⁻²

x

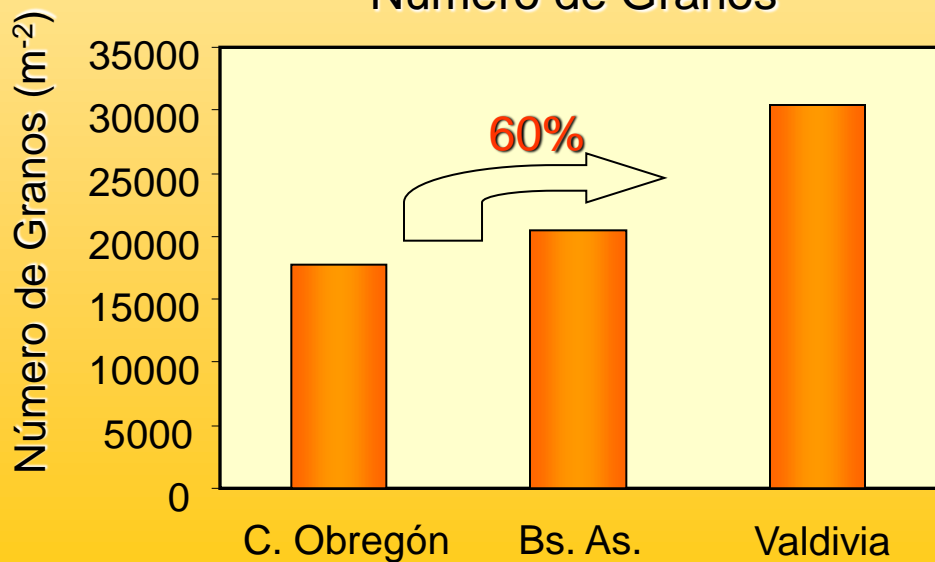
**Peso de
Grano**



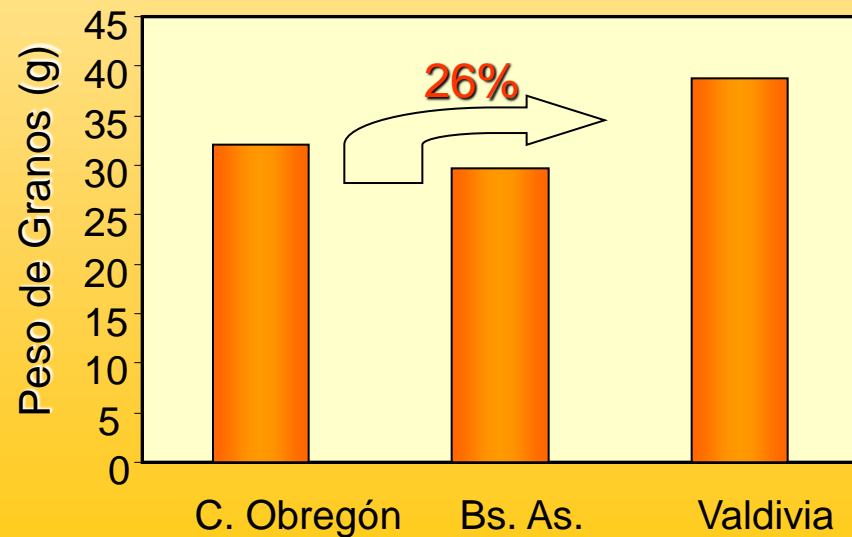
RENDIMIENTOS de TRIGO



Número de Granos



Peso de Granos

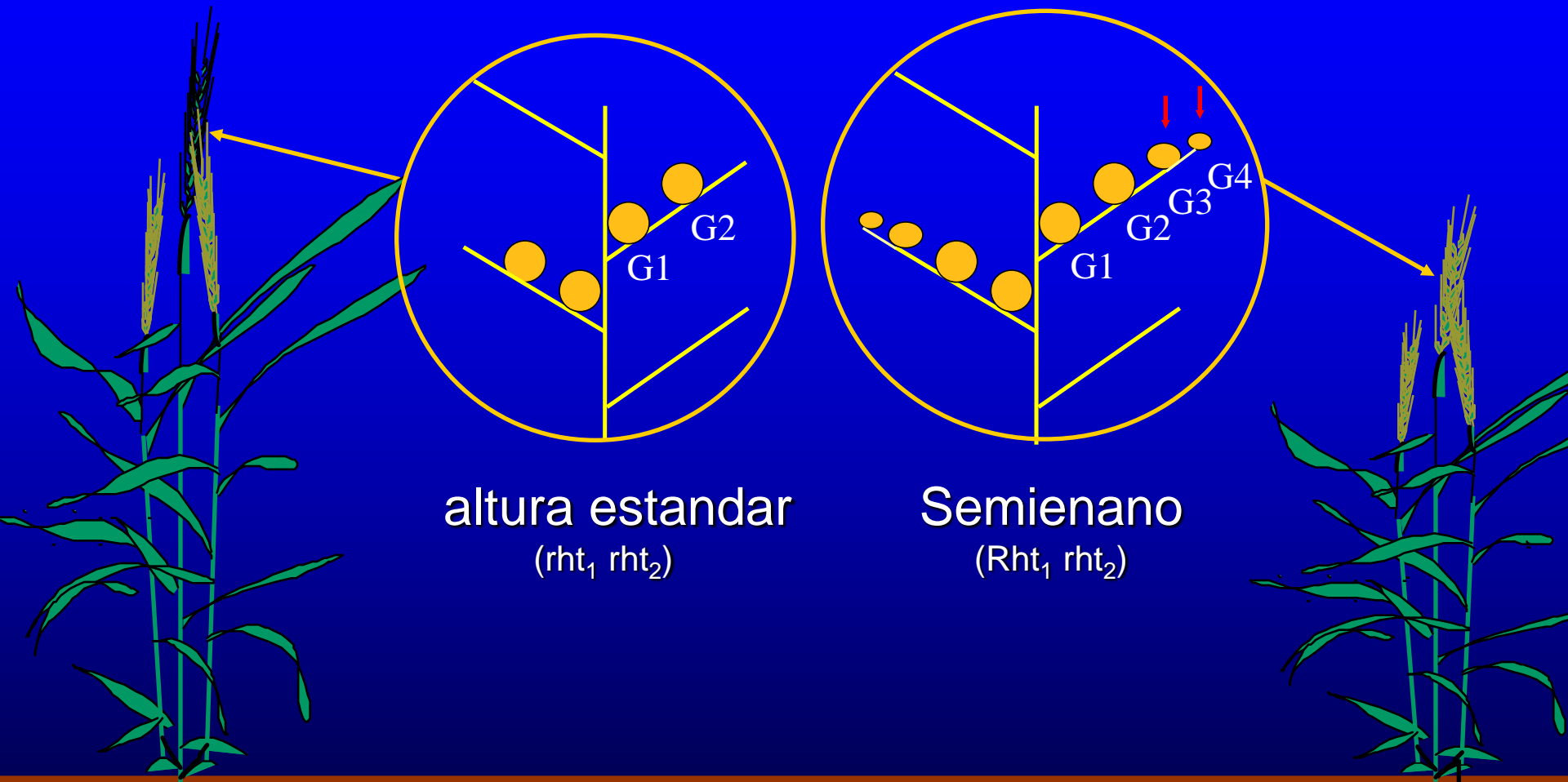


Trigos primaverales en Argentina, Inglaterra, México y Chile

Genotype/ environment		Rendimiento	P1000	NG
Weebill	Ob_07	6.4	40.13	13939
	Ob_08	-	-	-
	Ob_09	7.2	45.5	15991
	Ob_10	5.9	46.0	12865
	CF_08	9.8	-	-
	CF_10	6.3	50.1	12329
	Va_09	12.9	45.4	28410
	Va_10	12.7	46.0	27645
	BA_09	6.6	38.1	17327
	Bacanora	Ob_07	6.1	36.2
Ob_08		-	-	-
Ob_09		6.1	34.1	17908
Ob_10		5.8	38.8	14973
CF_08		8.6	-	-
CF_10		4.8	35.8	13374
Va_09		11.7	39.0	30144
Va_10		11.8	38.7	30719
BA_09		7.0	27.3	25485
Weebill x Bacanora		Ob_07	6.5	38.0
	Ob_08	7.1	38.6	18498
	Ob_09	6.3	37.7	16762
	Ob_10	5.8	39.5	14880
	CF_08	7.7	-	-
	CF_10	5.5	41.1	13459
	Va_09	11.9	44.2	27177
	Va_10	12.2	44.7	27338
	BA_09	6.8	31.9	21774

Griffiths (datos no publicados)

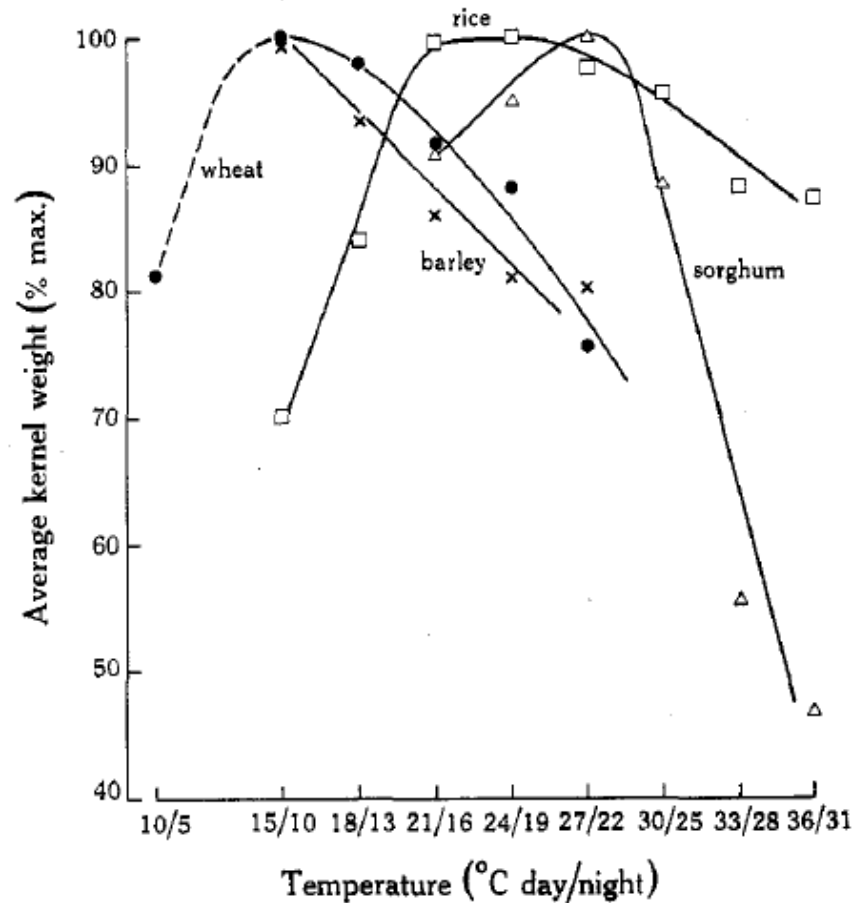
Líneas isigénicas de altura



altura estandar
($rht_1 rht_2$)

Semienano
($Rht_1 rht_2$)

Respuesta del Peso de Grano a la Temperatura



Chowdhury & Wardlaw (1978)
Aust. J. Agric. Res.

Temperatura media durante el llenado de granos

Season	Cultivar	Phenology				Mean temperature (°C)		
		Em	Bo	At	PM	Em-Bo	Bo-An	An-PM
1	Bacanora	11 September	20 November	1 December	15 January	11.9	14.6	15.6
	Kambara	11 September	21 November	3 December	17 January	11.9	14.4	15.9
2	Bacanora	4 October	30 November	15 December	19 January	12.4	13.3	17.8
	Kambara	4 October	1 December	17 December	22 January	12.4	13.9	18.0

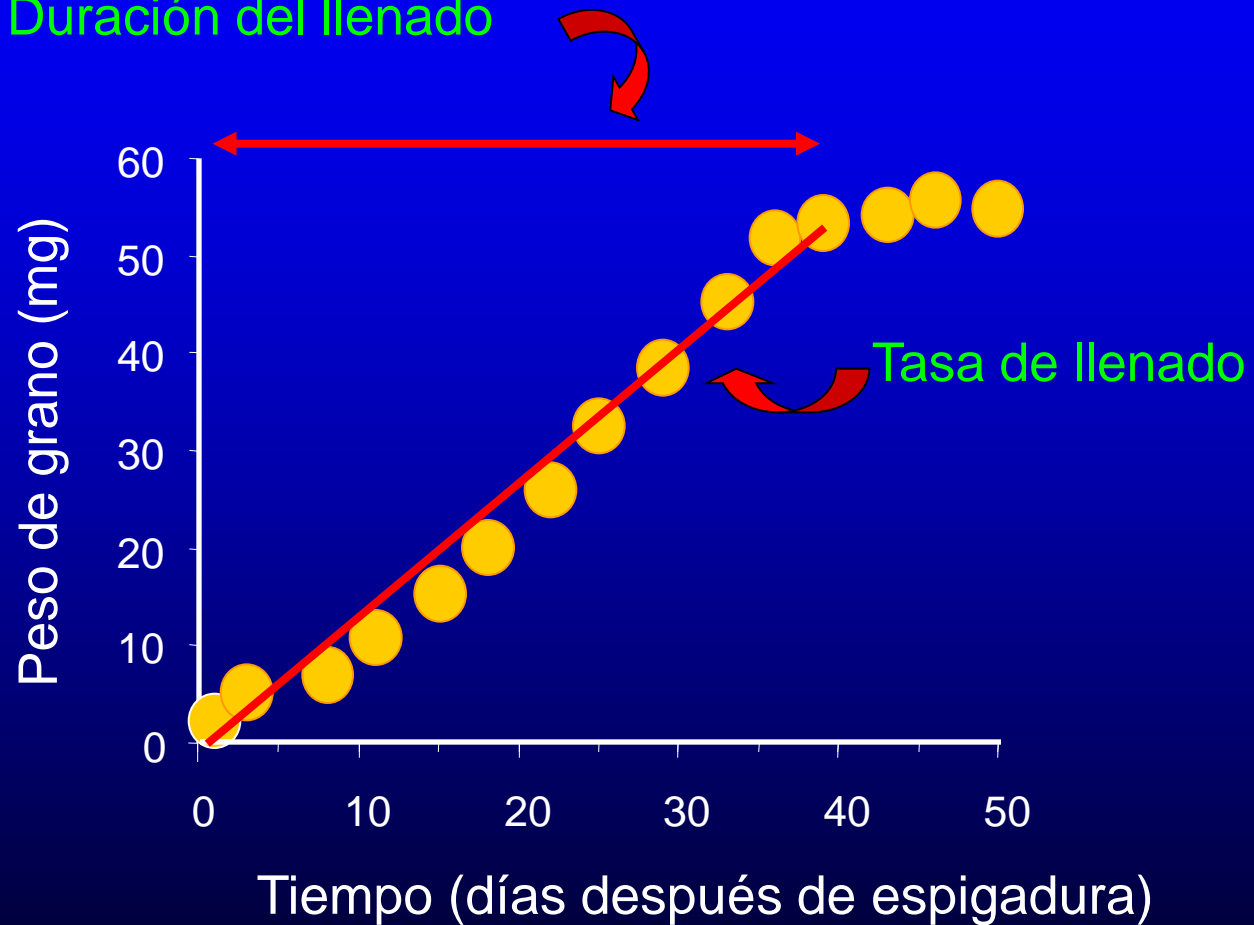
Experiment	Year or sowing date	Crop	Phenological period							
			Emergence-flowering				Flowering-physiological maturity			
			T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	T_{mean} (°C)	PAR (MJ m ⁻² d ⁻¹)	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	T_{mean} (°C)	PAR (MJ m ⁻² d ⁻¹)
1	Y1	Wheat	17.3	7.4	12.3	7.3	21.7	11.2	16.5	11.4
		Lupin	15.6	6.4	11.0	5.9	18.7	13.3	16.0	11.1
	Y2	Wheat	18.7	8.4	13.6	8.8	23.7	11.1	17.4	12.0
		Lupin	17.3	6.8	12.1	7.1	23.0	10.6	16.8	11.7
2	S1	Wheat	17.6	7.0	12.3	7.7	22.7	10.6	16.7	11.7
		Pea	17.3	6.7	12.0	7.4	21.7	10.9	16.3	11.3
	S2	Wheat	18.9	8.6	13.8	9.4	23.8	11.1	17.5	11.9
		Pea	18.9	8.5	13.7	9.3	22.8	11.0	16.9	12.0

Sandaña et al. (2009)
Field Crops Research

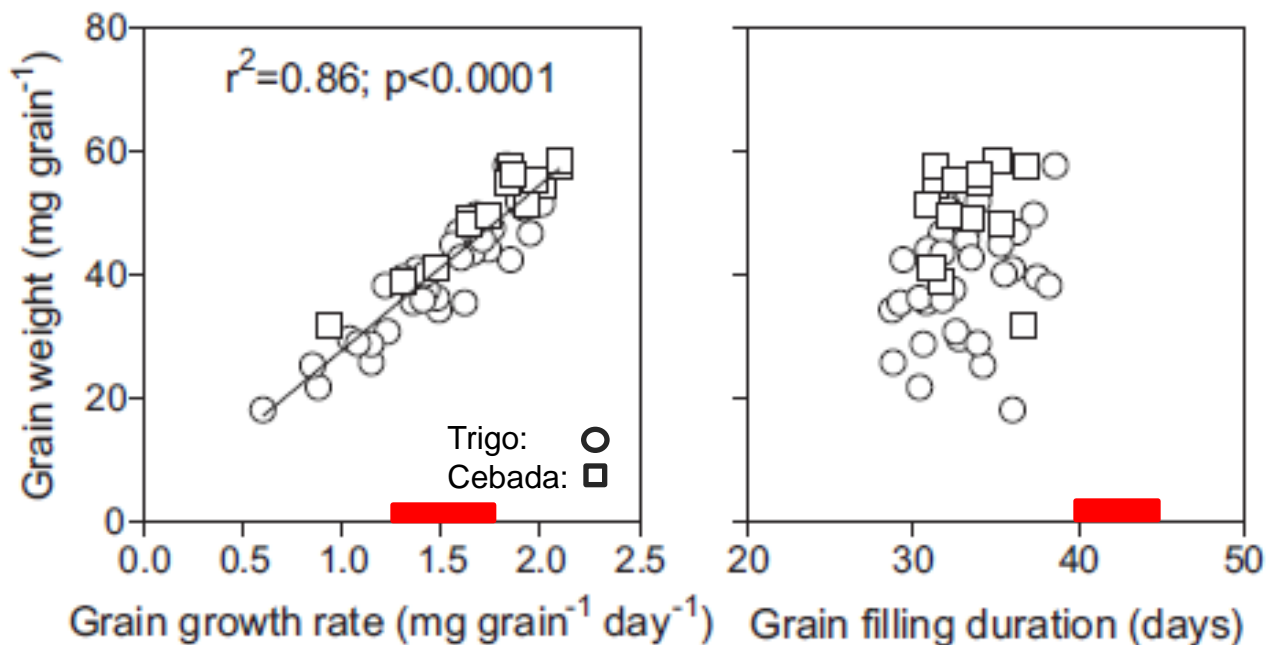
Hasan et al. (2011)
Field Crops Research

Determinantes del peso de grano

Duración del llenado



Relación del peso de grano y la tasa o la duración del llenado de trigo y cebada en ambientes de distinto potencial



Valdivia

tasa entre 1,3 y 1,7 mg d⁻¹
duración entre 40 y 45 d

Serrago et al. (2013)
Field Crops Research

Peso de grano y relaciones fuente-destino en ambientes Mediterráneos

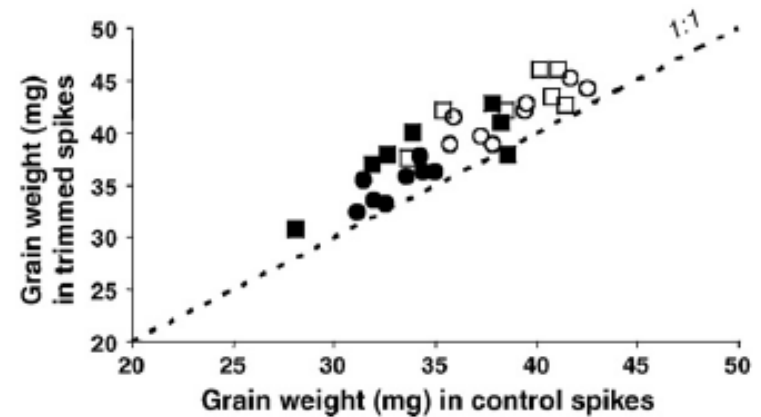
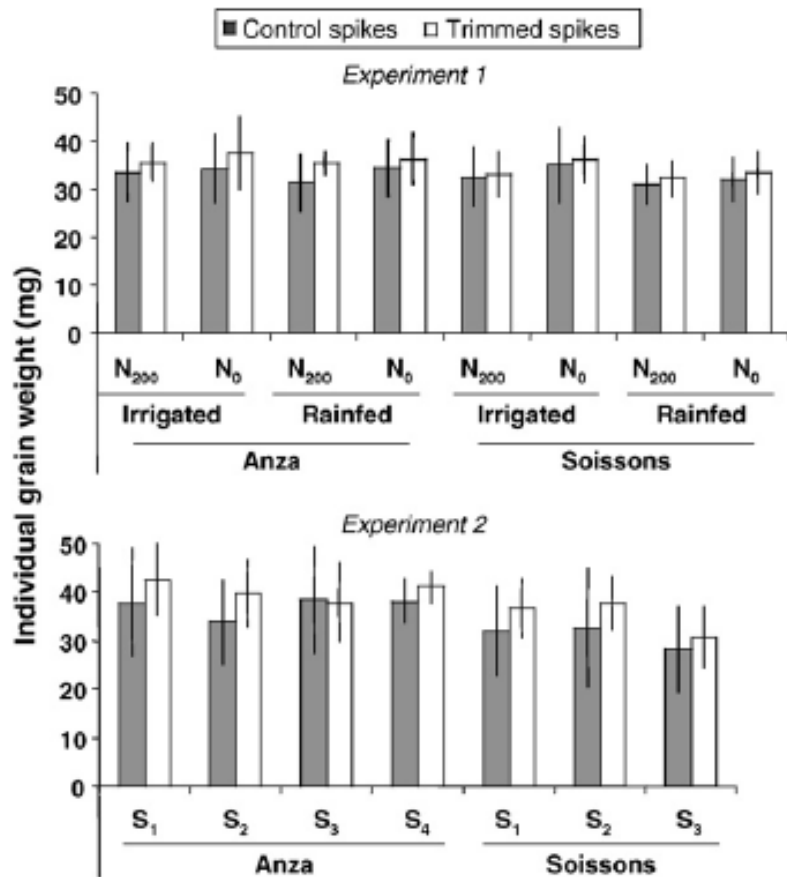


Fig. 4. Averaged grain weight for all grains in the spikes (closed symbols) and for only the proximal grains in central spikelets (open symbols) in trimmed spikes plotted against the same variable in the control spikes for each background treatment in experiments 1 (circles) and 2 (squares). Dashed line represents the 1:1 ratio.

Conclusiones

- Los rendimientos potenciales de trigo y cebada primaverales en la zona sur de Chile alcanzan las 12 t ha^{-1} pero podrían superar las 15 t ha^{-1}
- Las variables ambientales que permiten esta potencialidad son un alto coeficiente fototermal (relación R/T°) alrededor de floración y temperaturas próximas al óptimo durante el llenado de los granos
- El período de acumulación lineal de biomasa es corto (4 meses) con tasas de crecimiento que superan los $300 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$
- La Eficiencia en el Uso de la Radiación es una de las claves del alto potencial de producción de biomasa de la zona sur

¡Muchas gracias!

Esquema del Rendimiento de Trigo

