



Estrategias de adaptación de la agricultura en ambientes de clima Mediterráneo

Alejandro del Pozo



Plant
Breeding
and
Phenomic
Center



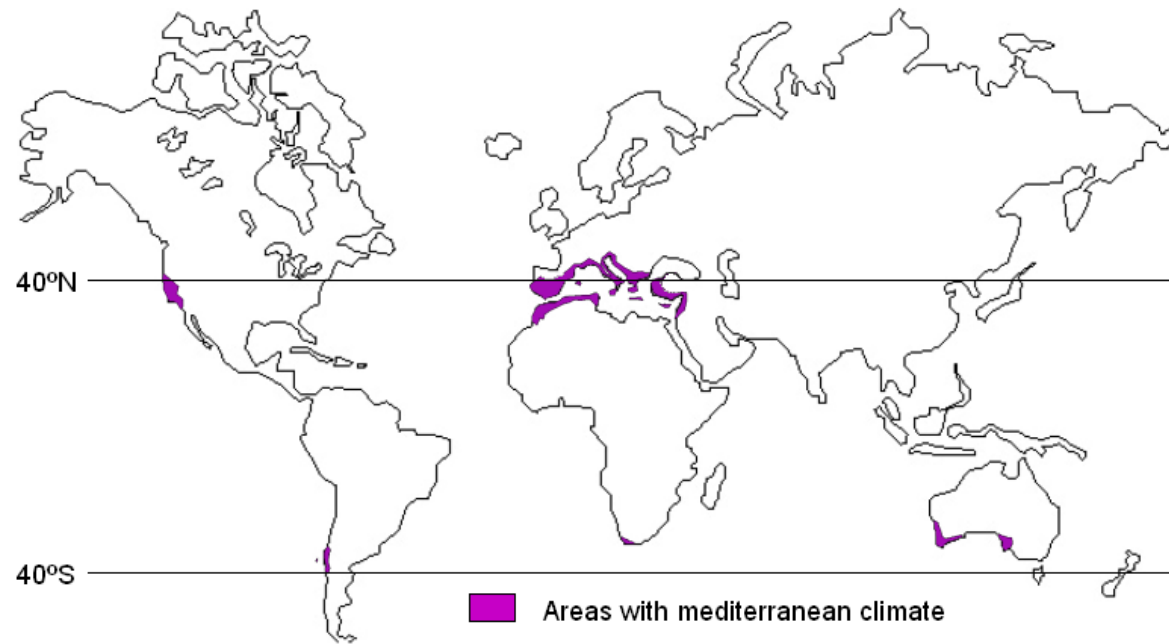
Plant
Breeding
and
Phenomic
Center

www.fenomica.utalca.cl

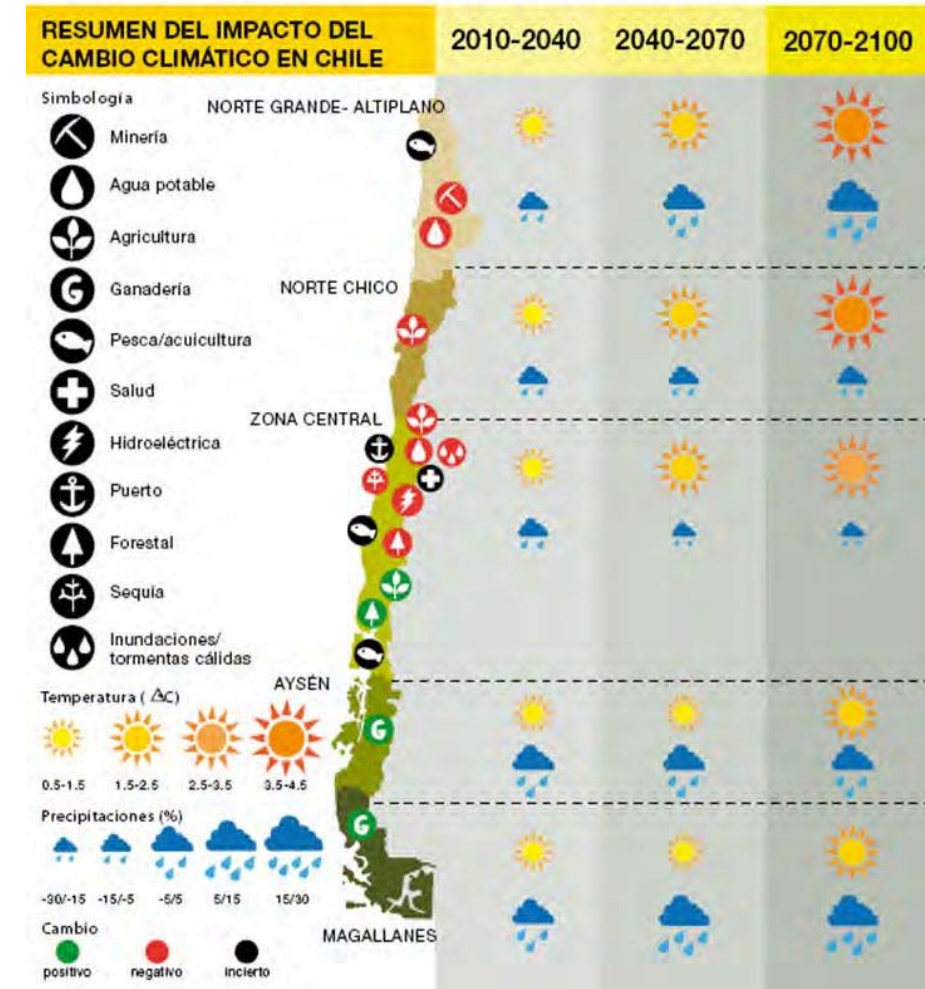
CONTENIDO

- ❑ Adaptación vía mejoramiento genético
- ❑ Adaptación via uso de prácticas agronómicas eficientes
- ❑ Simbiosis funcional entre plantas y microorganismos que puede producir plantas con mayor tolerancia al estrés abiótico.
- ❑ Estrategias de adaptación incluyen comportamiento de los agricultores e incentivos económicos.

Regiones de clima mediterráneo (MCR) en el mundo



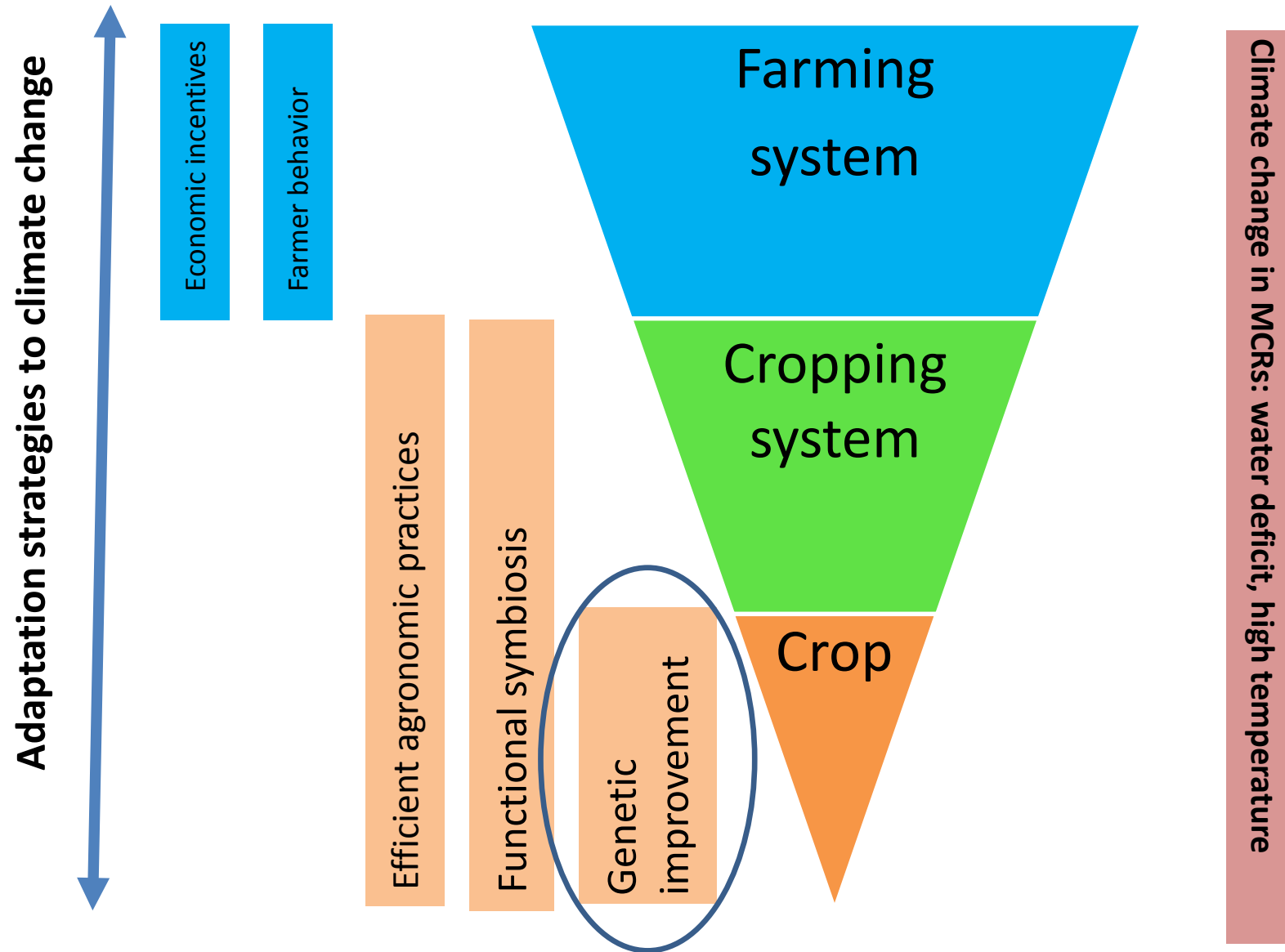
- Los sistemas de producción en MCR cubren una gran variedad de cultivos: cereales, legumbres y pastizales en áreas de secano, y huertos y viñedos, principalmente en condiciones de riego y sistemas productivos intensivos.
- La agricultura en los MCR está amenazada por el aumento de la sequía y los eventos de alta temperatura asociados con el cambio climático.



Impactos del cambio climático en la agricultura

- Cambios en los rendimientos y calidad
- Cambios en la estación de crecimiento
- Cambios en condiciones físico-química y biológicas de los suelos (degradación)
- Cambios en la disponibilidad de agua
- Desplazamiento de zonas aptas para cultivos
- Presencia de enfermedades y plagas
- Pérdidas de biodiversidad (polinizadores)
- Cambios en las condiciones de vida, migración, pobreza

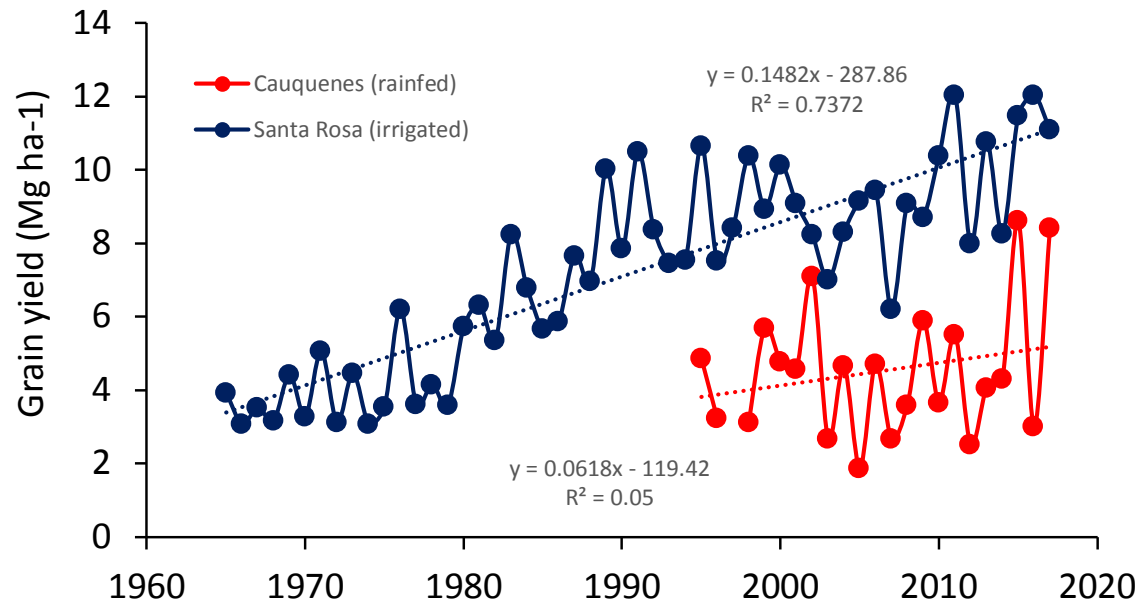
La adaptación se define como actividades que tienen como objetivo "**reducir la vulnerabilidad de los sistemas productivos** o naturales a los impactos del cambio climático y los riesgos relacionados con el clima, al **mantener o aumentar capacidad adaptativa y resiliencia de los sistemas**" (OCDE-CAD, 2011).



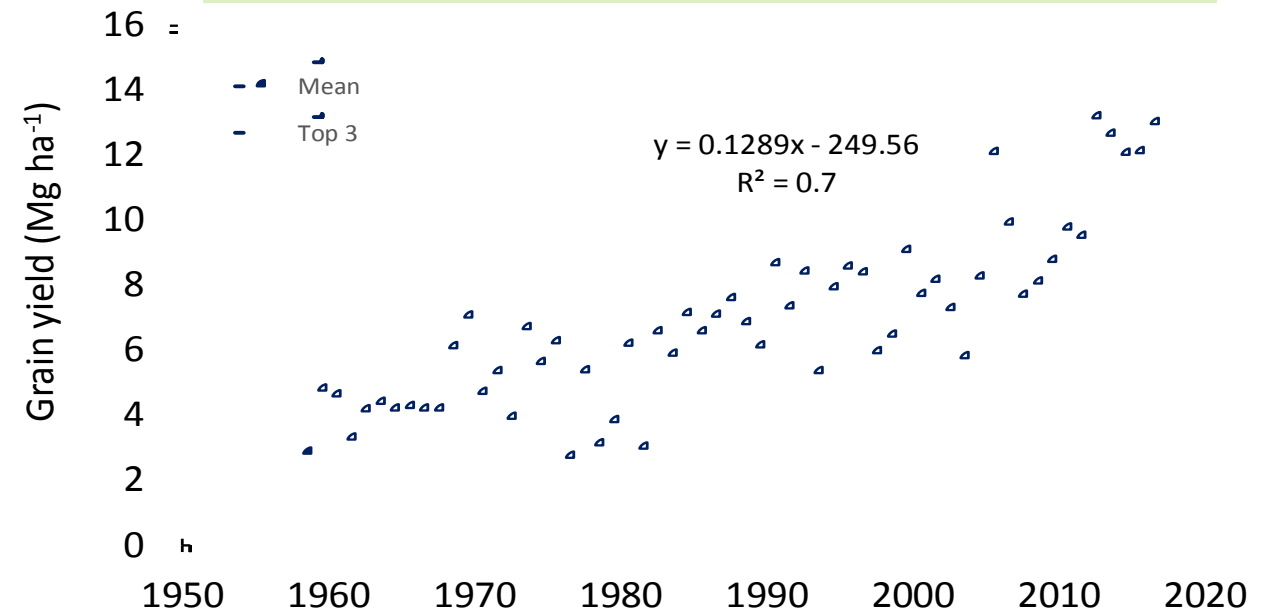
del Pozo et al. (2019) Sustainability 11, 2769. doi:10.3390/su11102769 (IF: 2.585)

El mejoramiento genético se ha basado principalmente en la selección empírica del rendimiento del cultivo (y la calidad). A pesar de ello ha sido exitoso en Chile.

Progreso de rendimiento de trigos primaverales de INIA

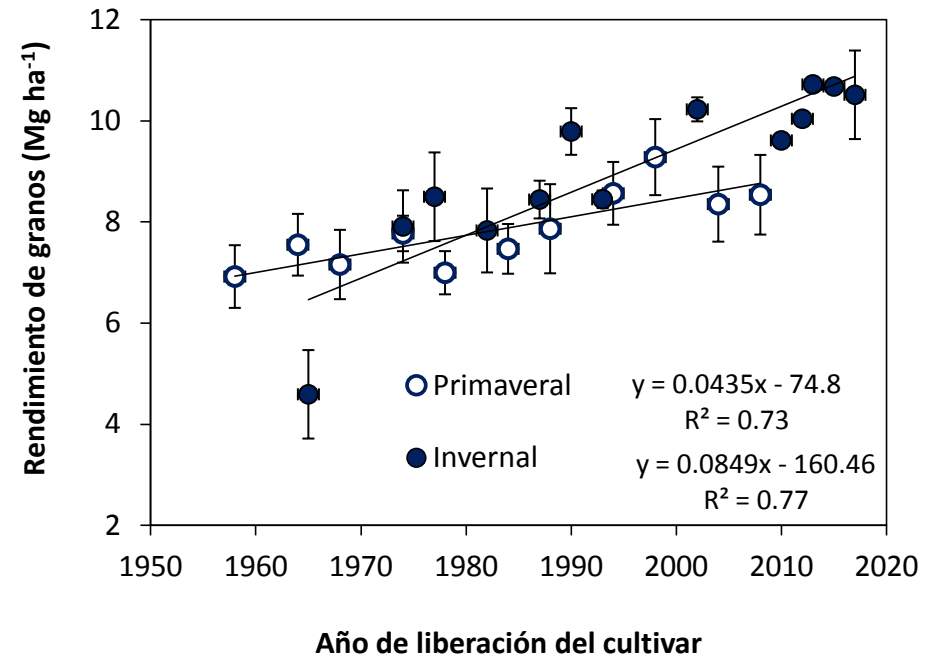


Progreso de rendimiento de trigos invernales de INIA

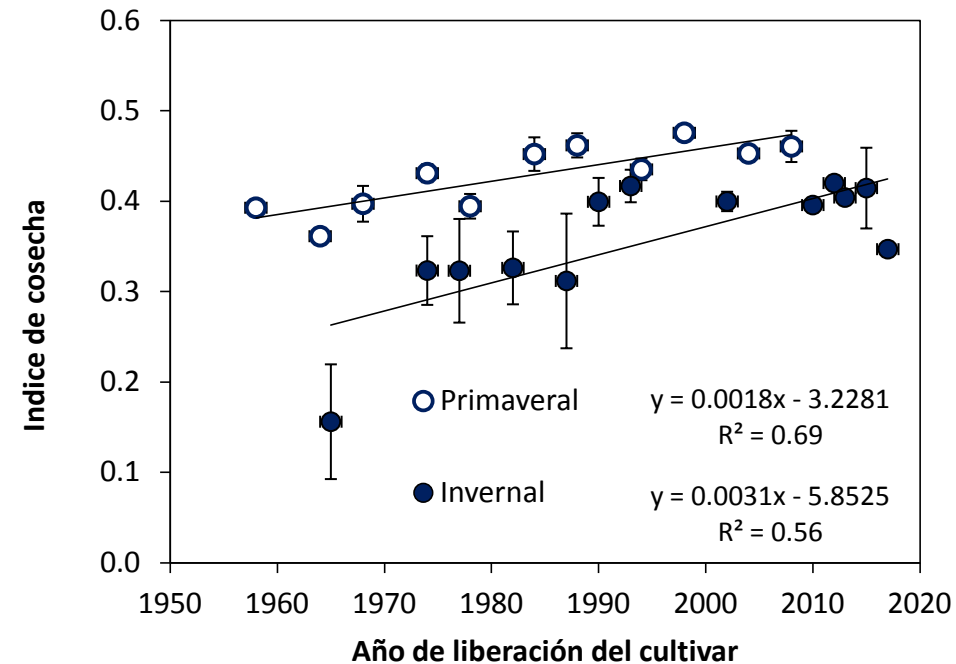


Los valores son la media de 25 cultivares y líneas avanzadas (datos de los programas de mejoramiento de trigo INIA)

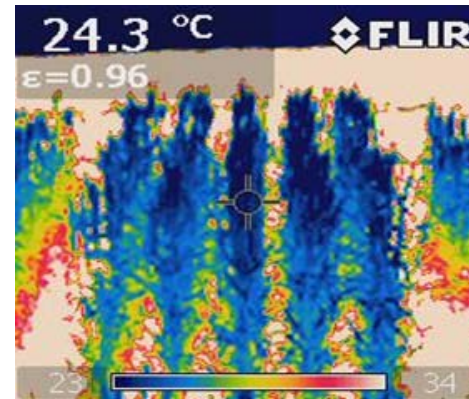
Genetic progress of spring bread wheat released between 1920 and 2008: 14 genotypes growing during four seasons (2008-2011)



Identifying agronomical and morpho-physiological traits associated to high-yield potential of winter wheat

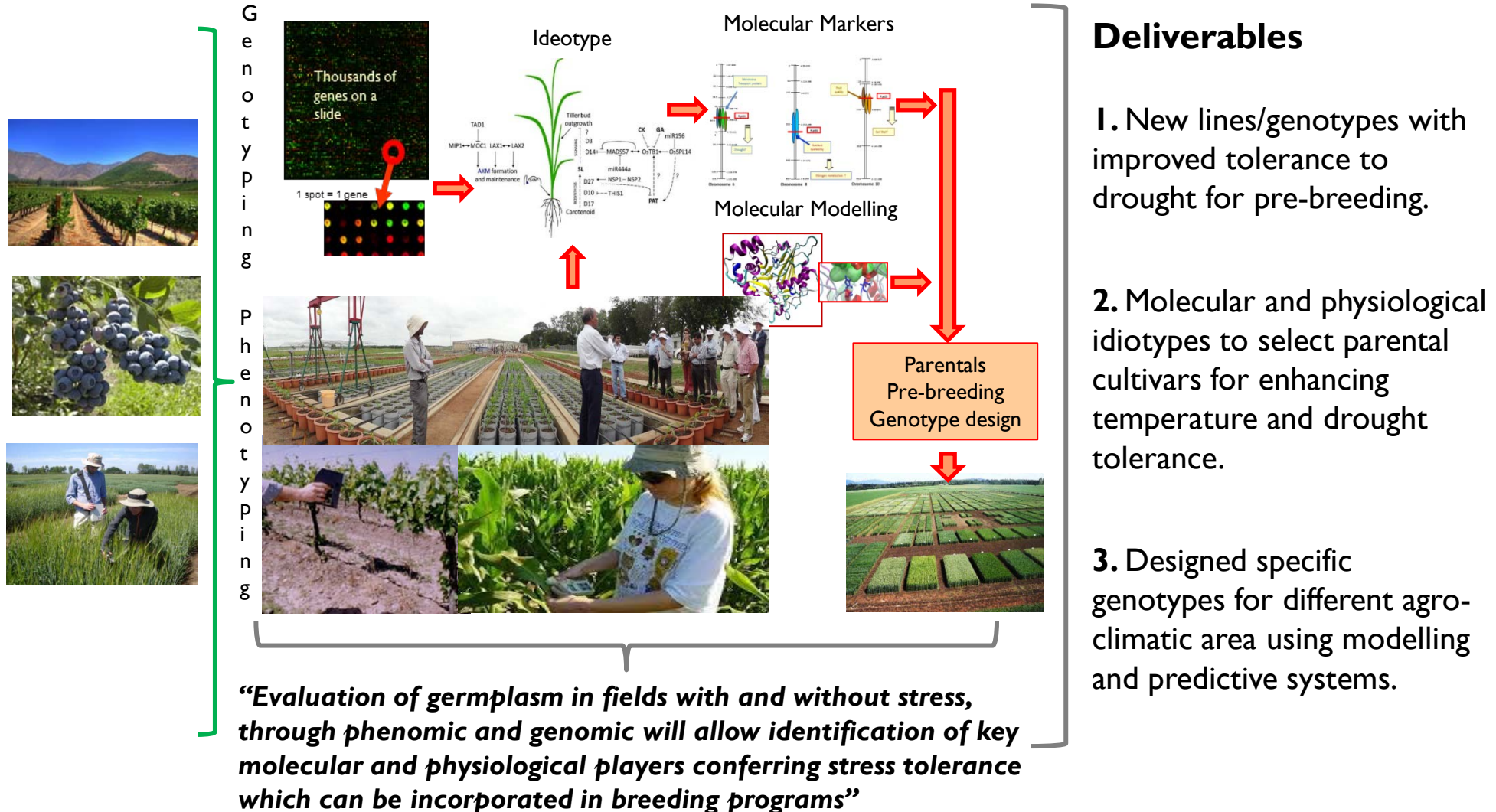


- Necesitamos comprender mejor las bases fisiológicas del potencial de rendimiento en ambientes de alto y bajo condiciones de estrés, a fin de seleccionar los rasgos deseables y sus combinaciones, lo cual es complejo.
- El fenotipado de plantas mediante **rasgos fisiológicos**, como complemento a los rasgos agronómicos, puede ayudar a identificar las características seleccionables que aceleran la mejora para el potencial de rendimiento, especialmente bajo condiciones de estrés.



La adaptation de plantas para un ambiente cambiante

Stress tolerant genotypes



Genomic and phenomic characterization

Plataformas de fenotipado



Plataformas de fenotipado



Caracteres asociados al rendimiento en sequía

Fotoprotección

- **Morfología de la hoja:**
 - ceras/pubescencia
 - postura/enrollamiento
- **Pigmentos**
 - Clorofila a:b
 - Carotenoides
- **Antioxidantes**

Eficiencia de transpiración

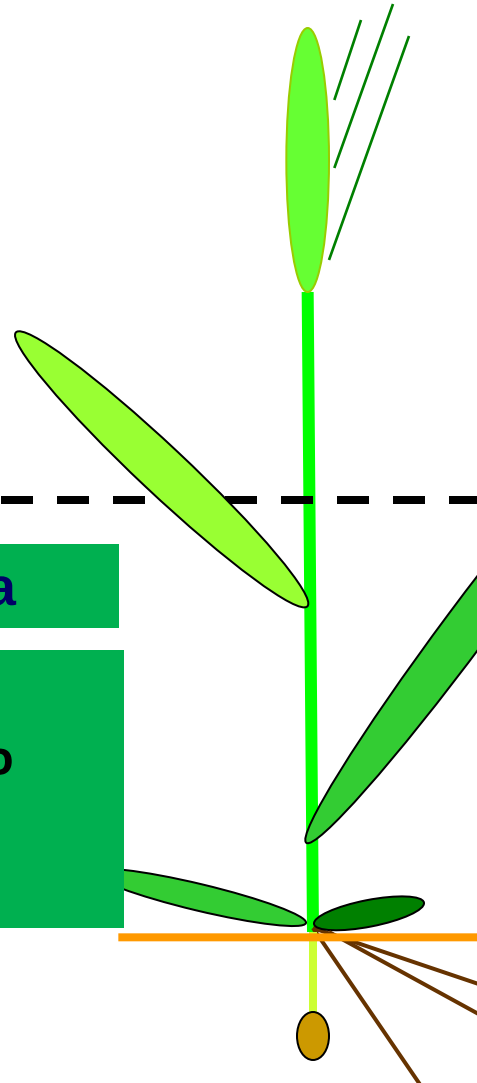
- **Uso eficiente del agua**
 - alta discriminación $^{12/13}\text{C}$
- **Senescencia retardada**
("stay- green")
- **Fotosíntesis de espigas**

Partición de la biomasa

- **Acumulación de carbohidratos en el tallo antes de antesis**
- **Índice de cosecha**

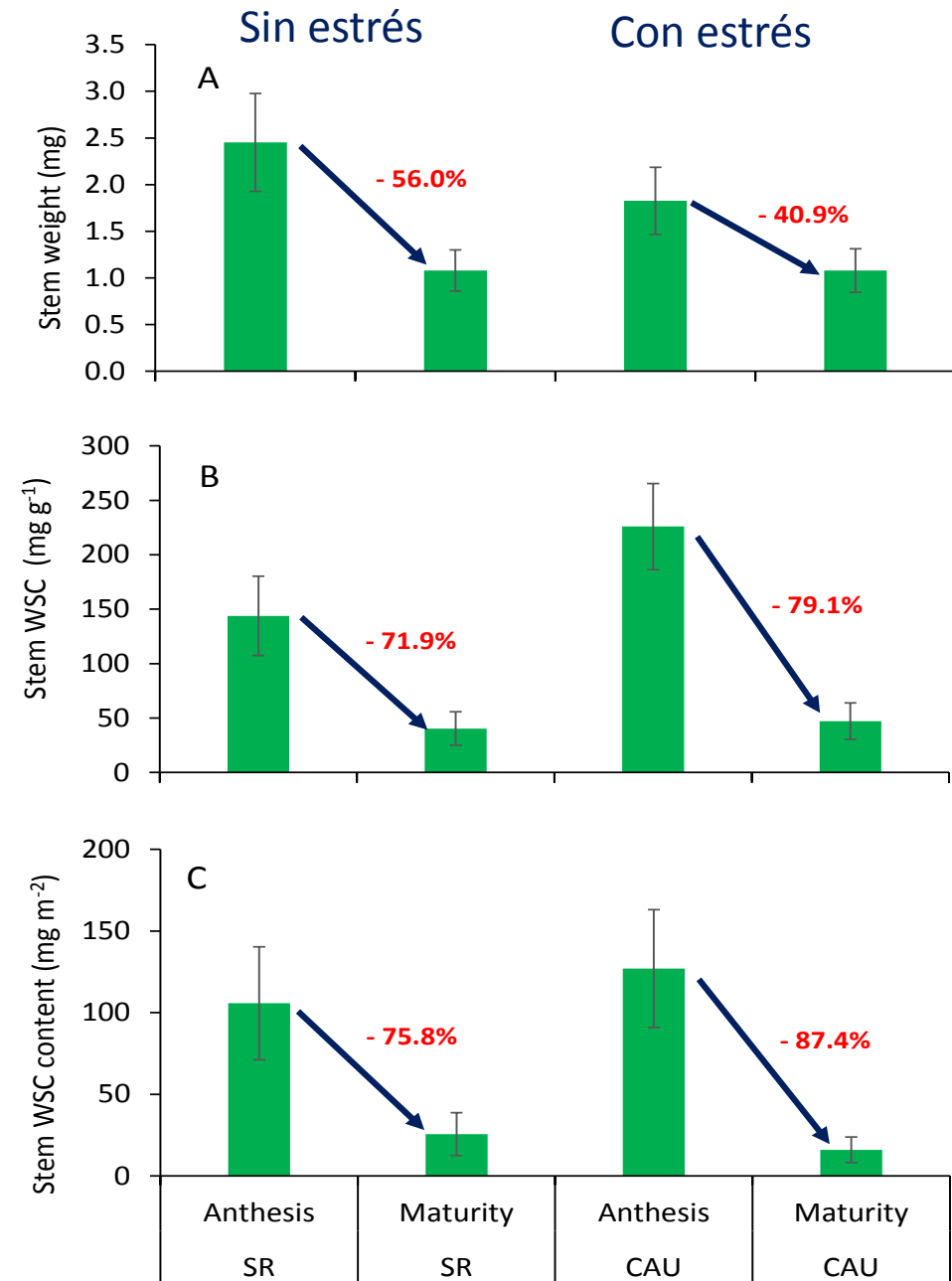
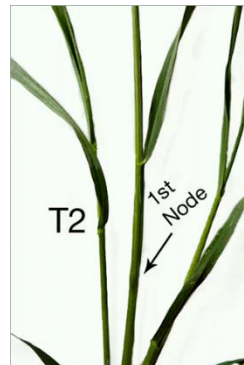
Absorción de agua

- **Distribución y profundidad de raíces**
- **Doseles mas fríos**
- **Ajuste osmótico**

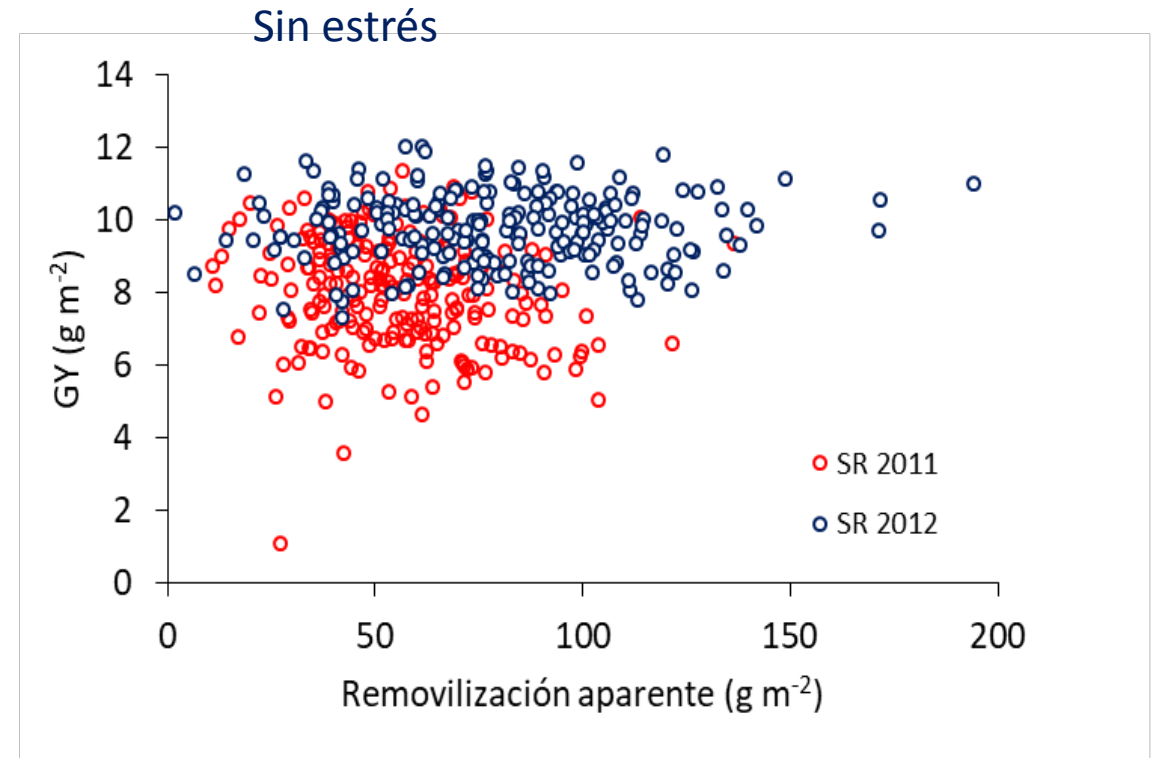
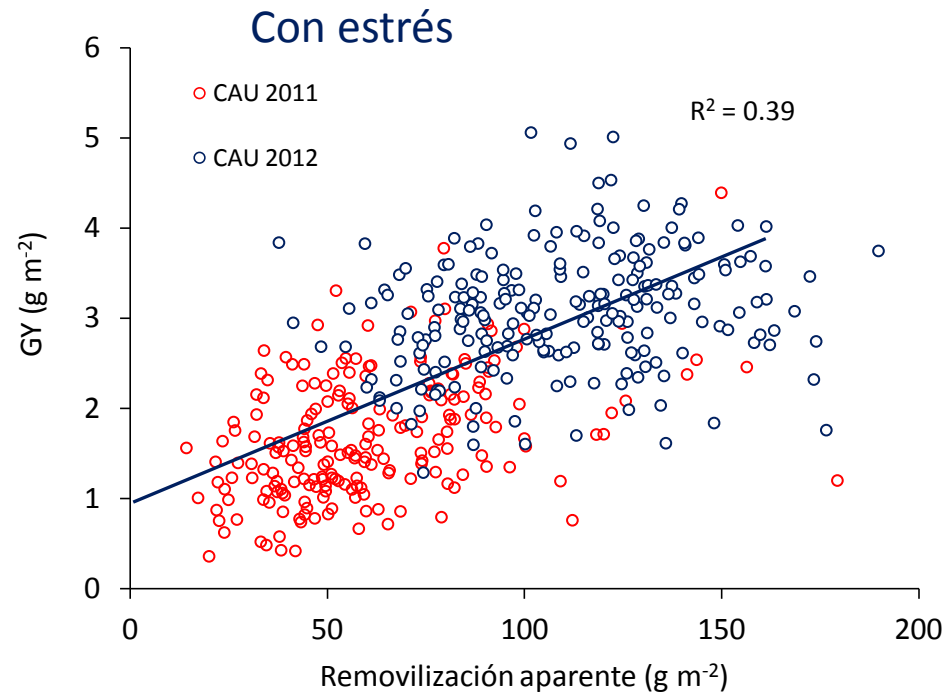


Las reservas del tallo

- En los cereales, la acumulación de carbohidratos solubles en agua (WSC) en el tallo permite la remobilización de éstos durante el período de llenado del grano: 5-20% de la materia seca del grano en plantas sin estrés hídrico.
- Bajo estrés hídrico, donde la fotosíntesis está deprimida, el llenado del grano depende más de la movilización de reservas en el tallo, y puede representar entre 22 y 60% de la materia seca acumulada en el grano.

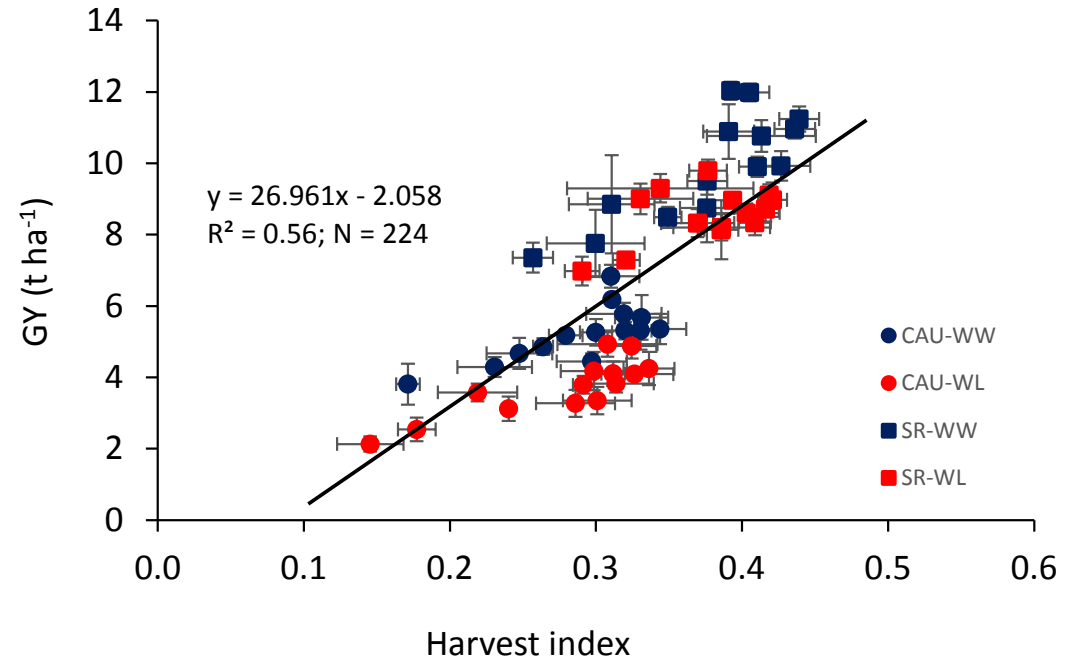
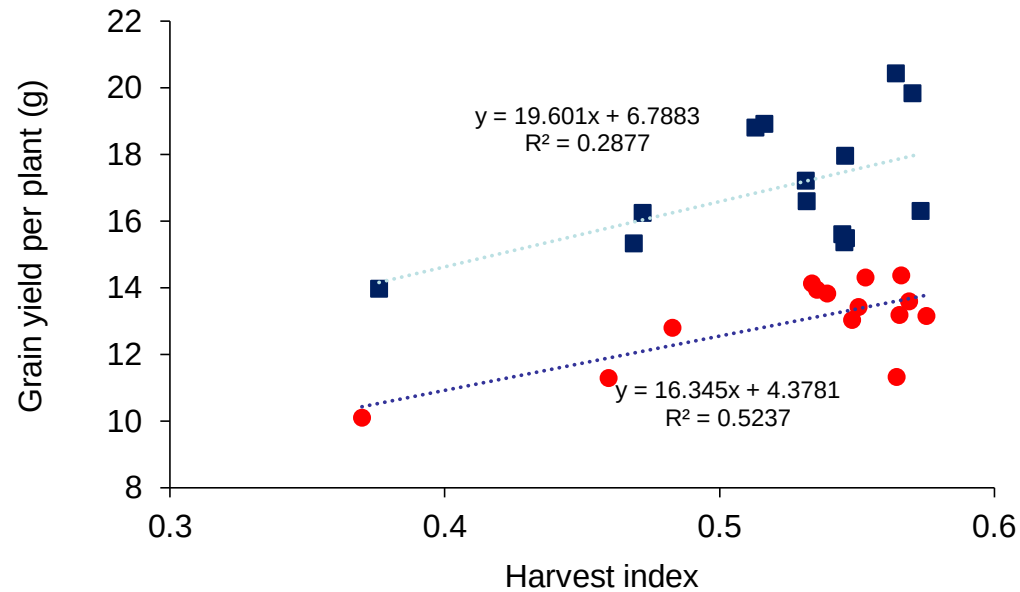


Removilización aparente de carbohidratos del tallo desde antesis a madurez en **225 genotipos de trigo**, bajo condiciones de estrés



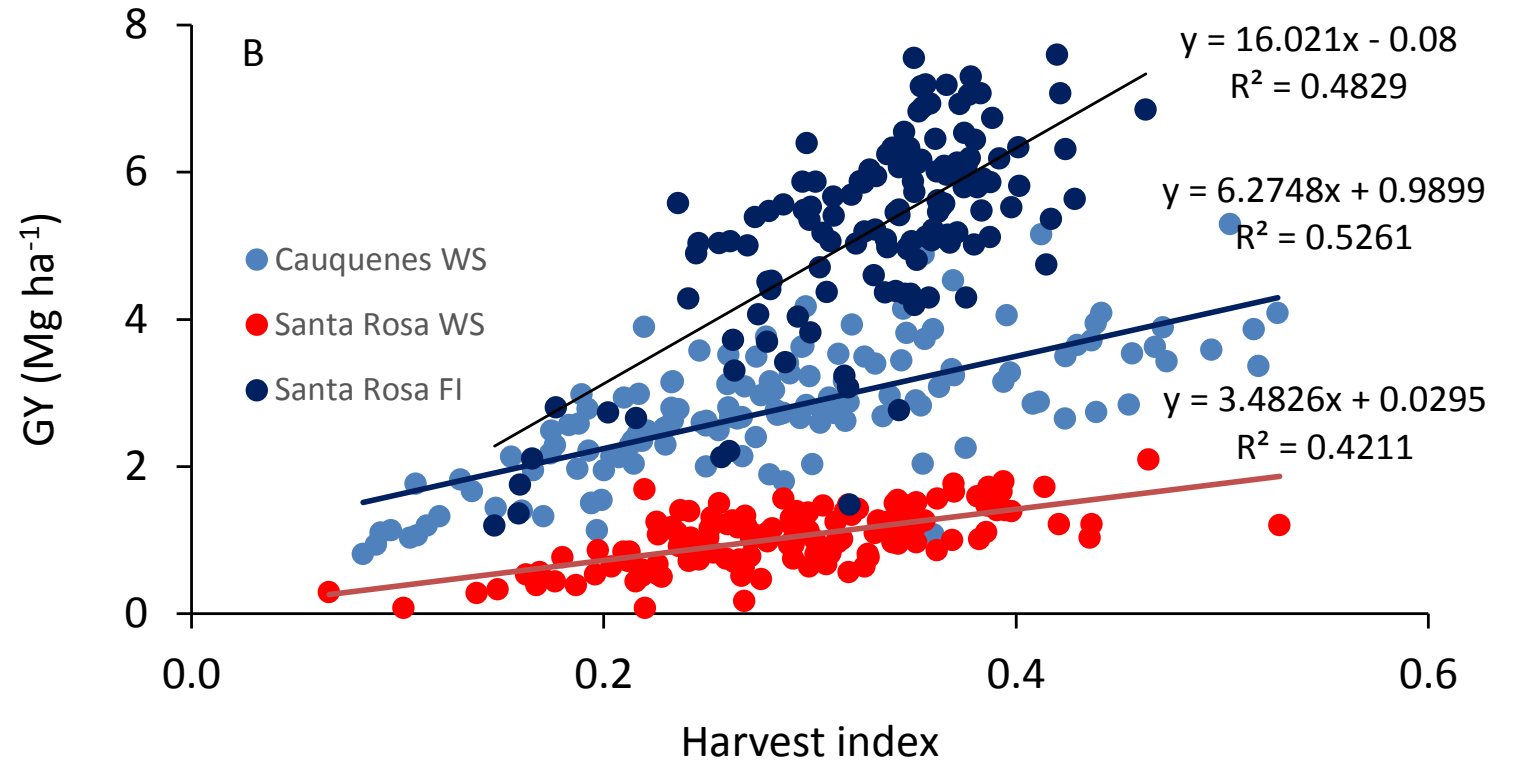
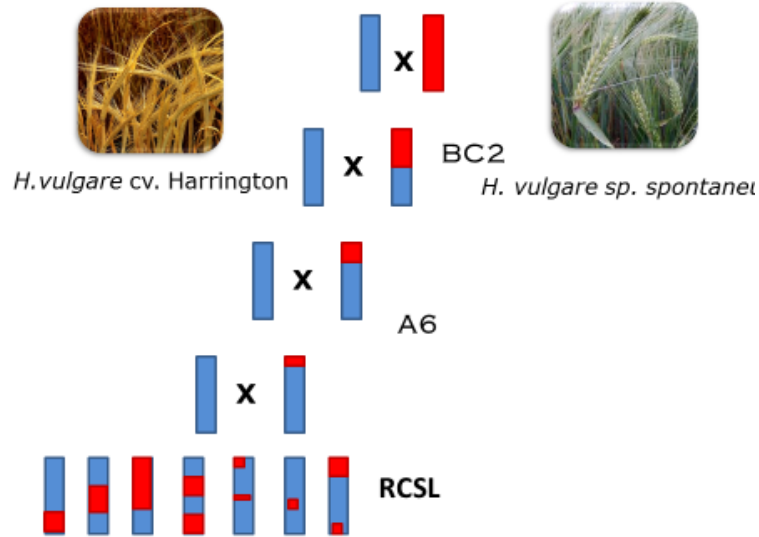
$$\text{Removilización WSC (g m}^{-2}\text{)} = \text{WSCCa} - \text{WSCCm}$$

Las líneas de trigo avanzadas más productivas tienen un **índice de cosecha** más alto, tanto en condiciones de secano como de riego



El rendimiento (GY) de **140 líneas recombinantes de cebada (RCSLs)** se relaciona con el índice de cosecha

Recombinant Chromosomes Substitutions Lines- RCSLs



Caracteres asociados al rendimiento en sequía

Fotoprotección

- **Morfología de la hoja:**
 - ceras/pubescencia
 - postura/enrollamiento
- **Pigmentos**
 - Clorofila a:b
 - Carotenoides
- **Antioxidantes**

Eficiencia de transpiración

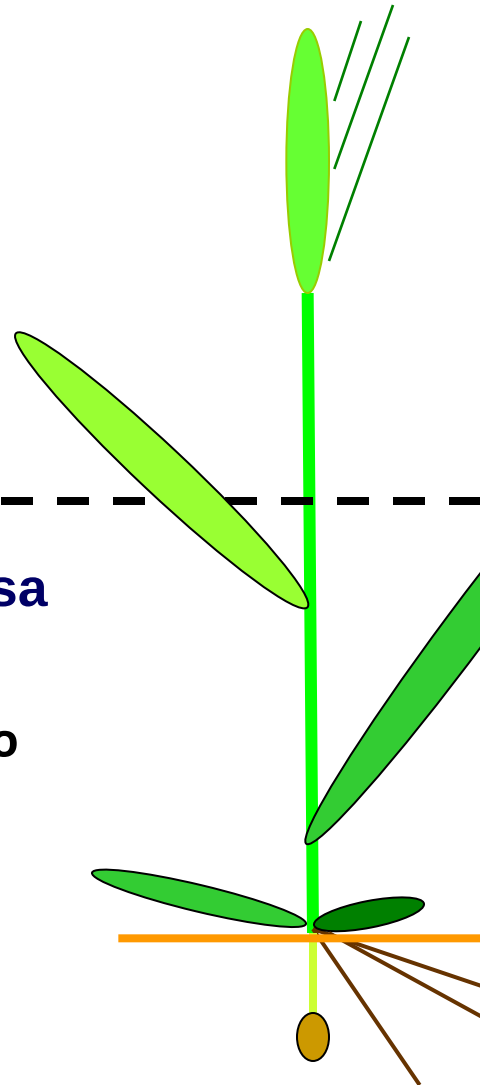
- **Uso eficiente del agua**
 - alta discriminación $^{12/13}\text{C}$
- **Senescencia retardada**
("stay- green")
- **Fotosíntesis de espigas**

Partición de la biomasa

- **Acumulación de carbohidratos en el tallo antes de antesis**
- **Índice de cosecha**

Absorción de agua

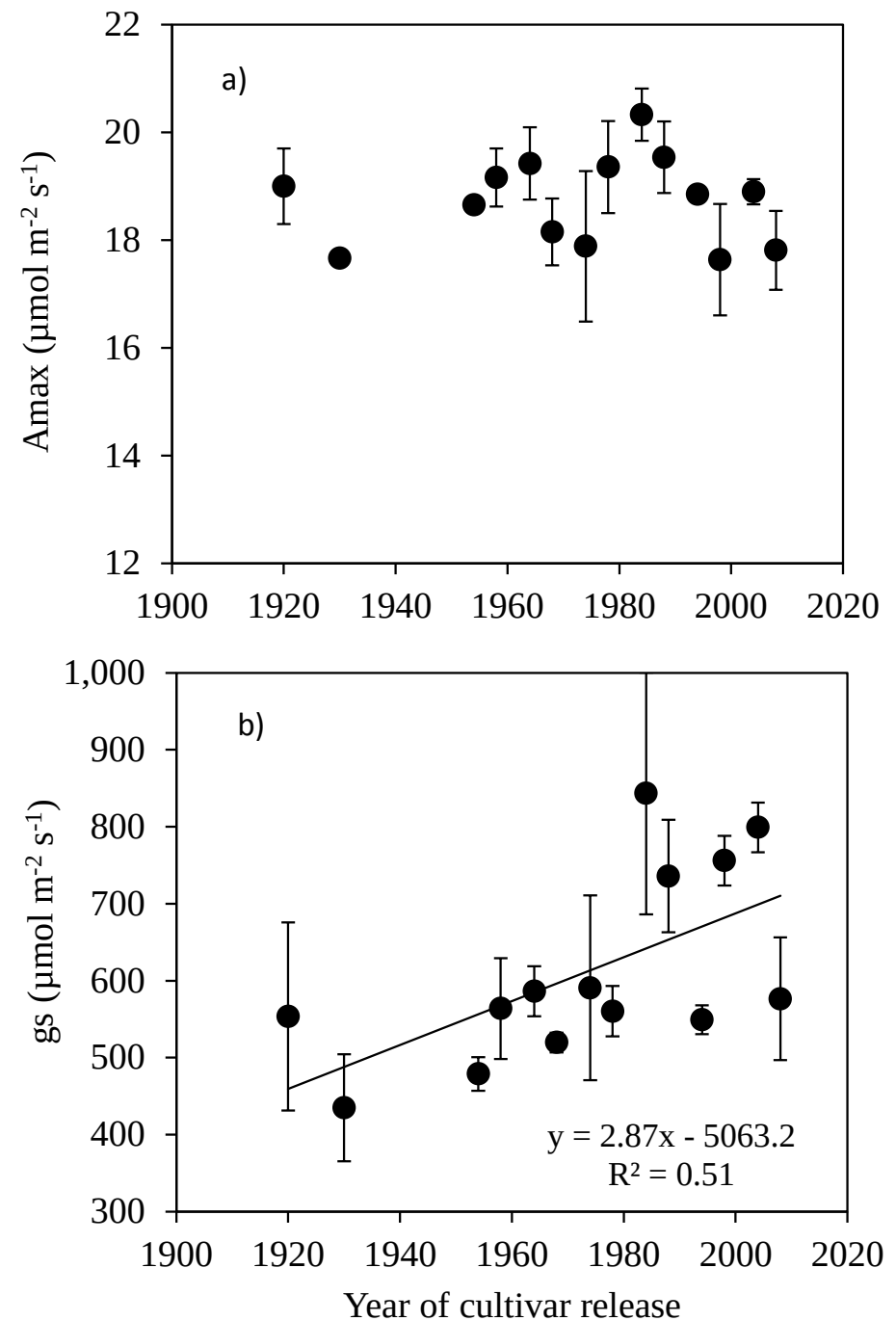
- **Distribución y profundidad de raíces**
- **Doseles mas fríos**
- **Ajuste osmótico**



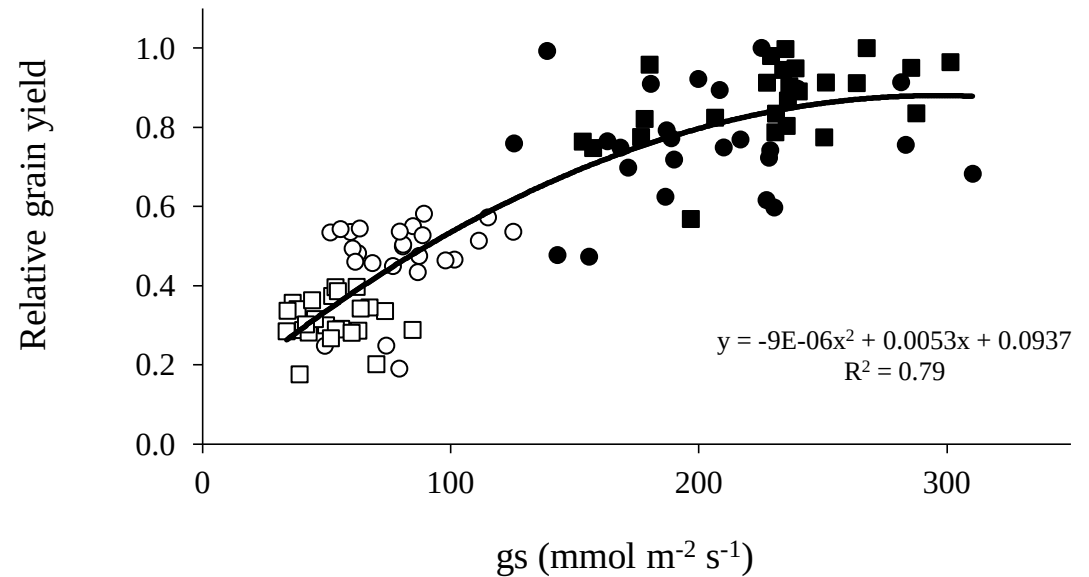
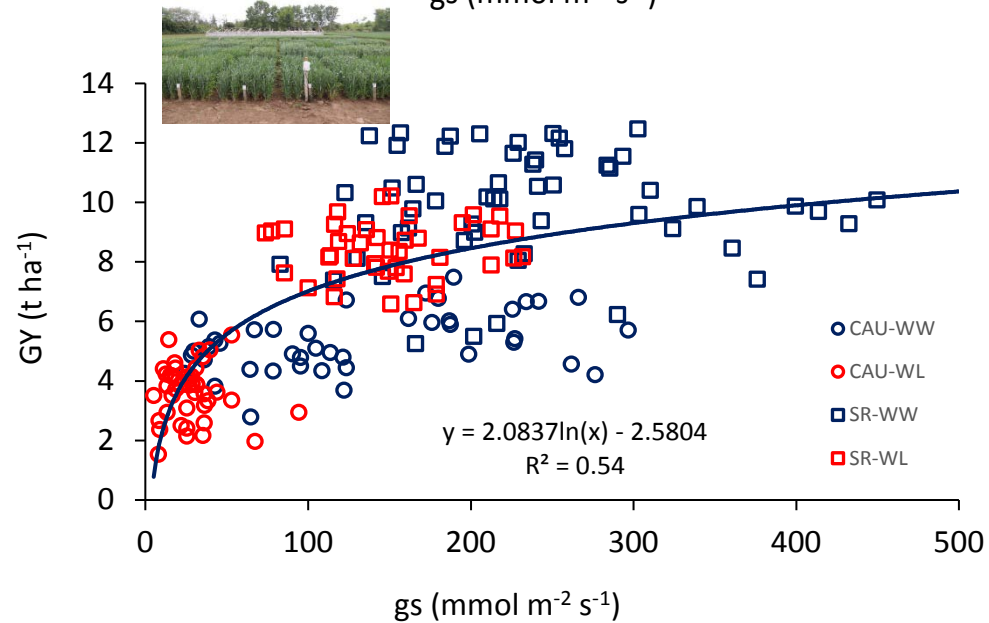
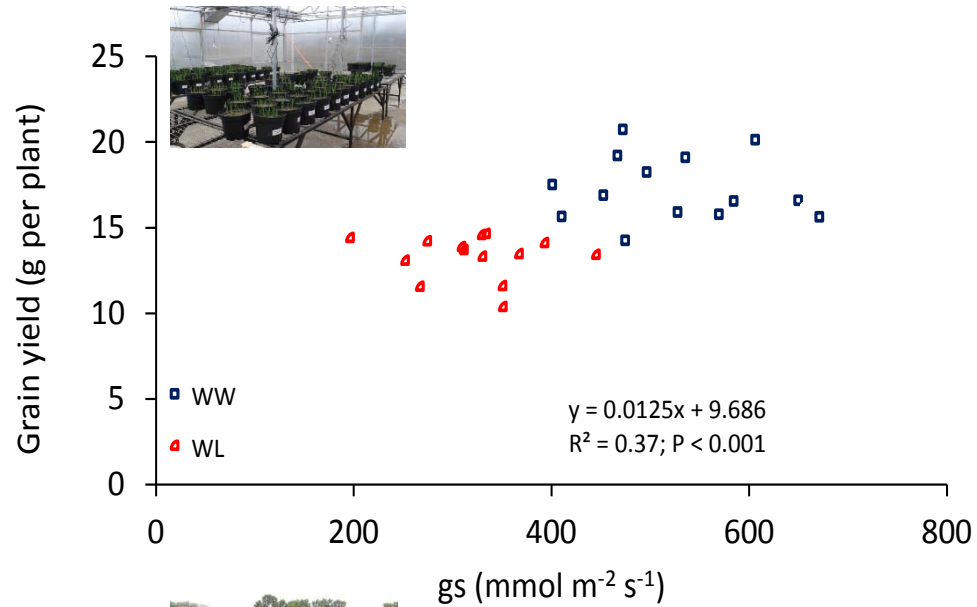
Progreso genético de rasgos fisiológicos en trigos harinero de hábito primaveral.



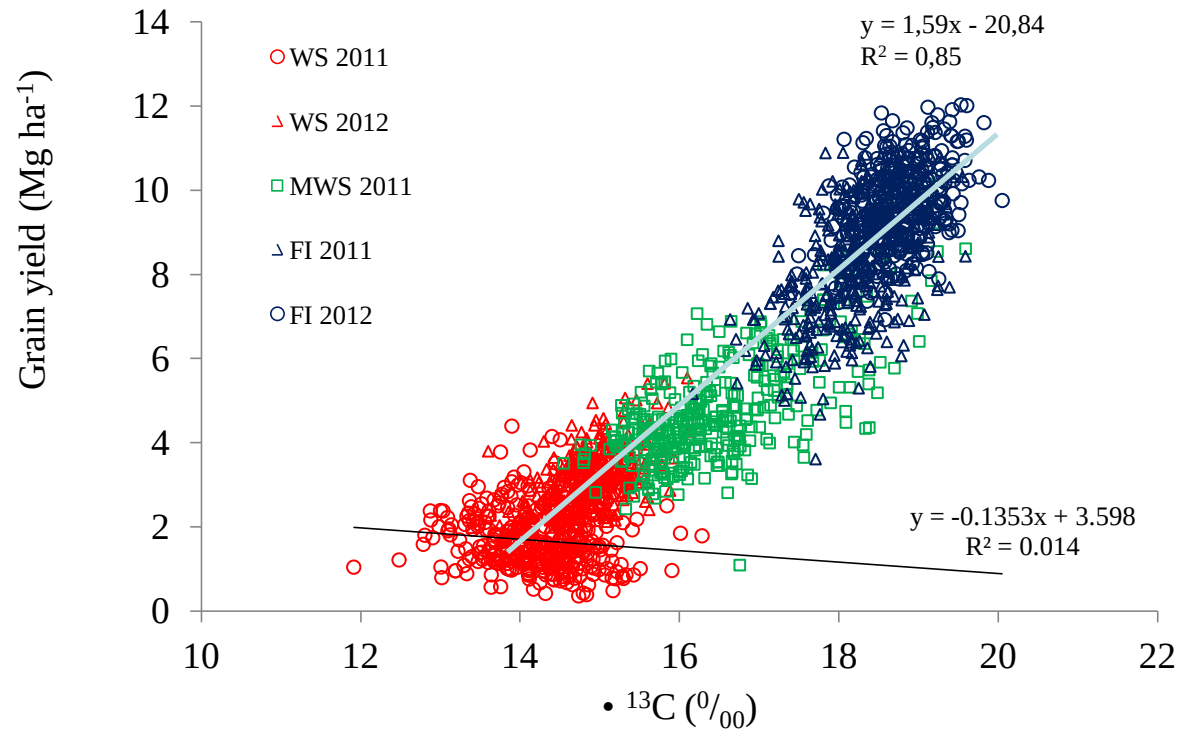
del Pozo, A., Matus, I., Araus, J.L., Serret, D. 2014. Agronomic and physiological traits associated with breeding advances of wheat under high-productive Mediterranean conditions. The case of Chile. *Environmental and Experimental Botany* 103: 180-189.



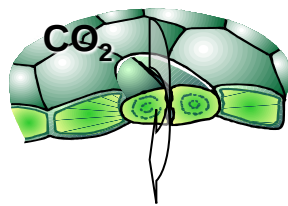
El rendimiento de grano se relaciona positivamente con la conductancia estómatica de la hoja bandera



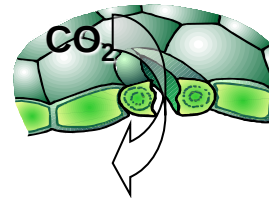
Grain yield and carbon discrimination ($\Delta^{13}\text{C}$) in grains



Water stress



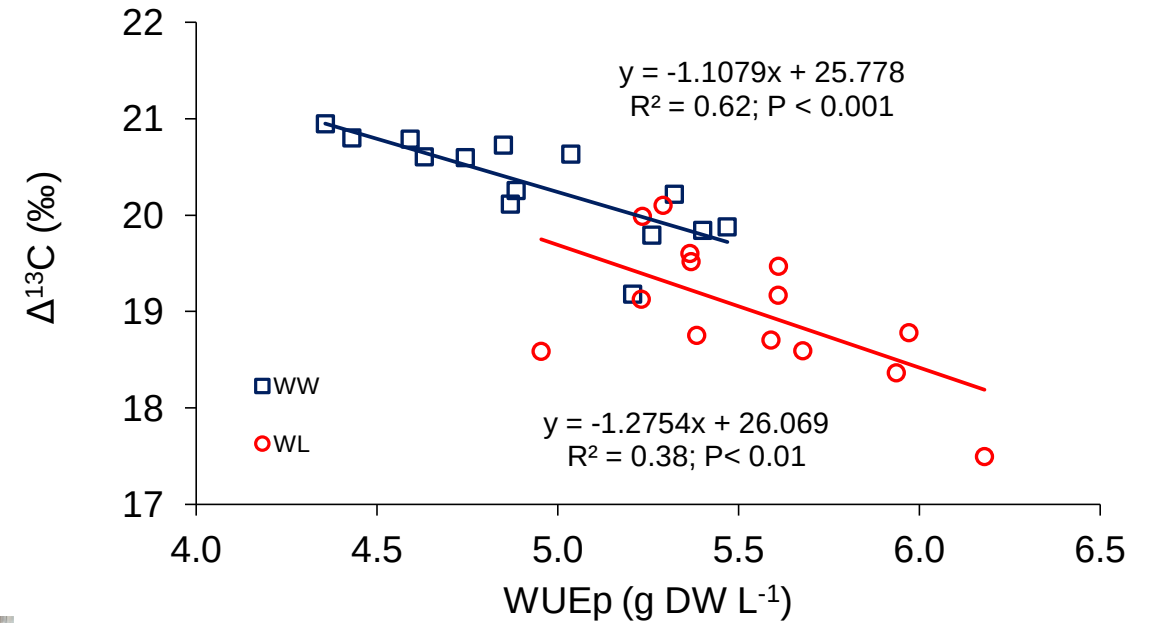
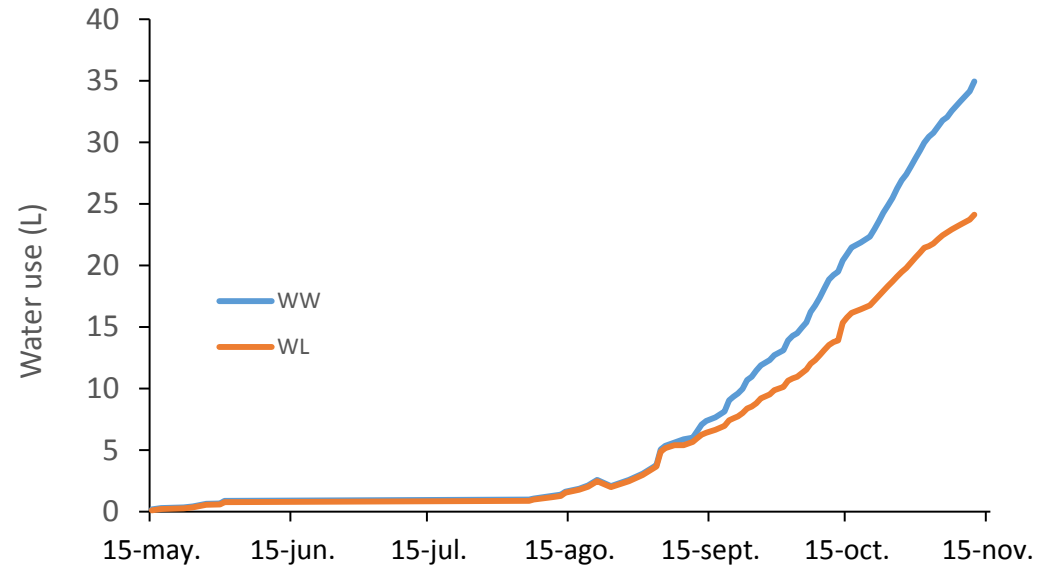
➤ Low $\Delta^{13}\text{C}$



➤ High $\Delta^{13}\text{C}$

del Pozo, A., Yáñez, A., Matus, I., Tapia, G., Castillo, D., Araus, J.L., Sanchez-Jardón, L. 2016. *Frontiers in Plant Science* 7, 987.

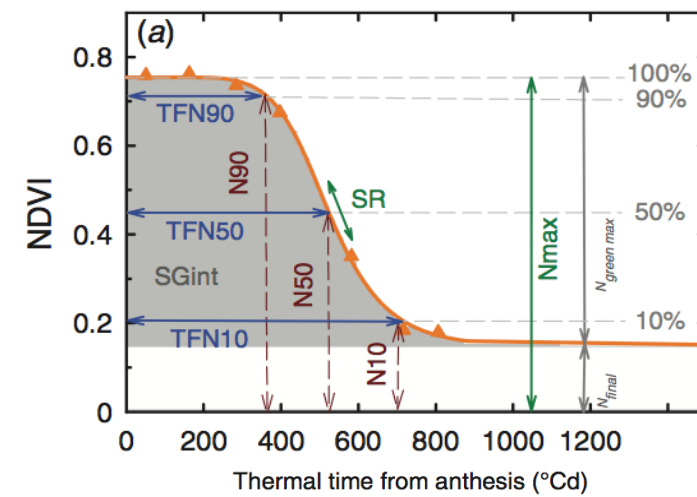
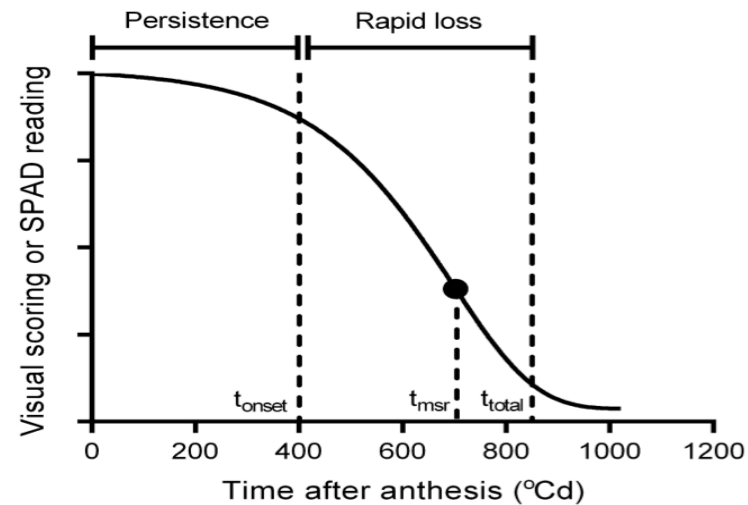
$$GY = WU \times WUE \times HI \quad (\text{Passiura, 1996})$$



Caracterización fisiológica y molecular de genotipos de trigo primaveral con senescencia retardada “stay-green” y su relación con la tolerancia al estrés hídrico.

- ❑ Identificar genotipos de trigo primaveral con senescencia retardada (stay-green) y un alto potencial de rendimiento bajo condiciones de estrés hídrico terminal en ambientes mediterráneos.
- ❑ Identificar regiones cromosómicas asociadas con el carácter stay-green en una población diversa de cultivares de trigo primaveral y líneas avanzadas.
- ❑ Evaluar el perfil de expresión de genes candidatos asociados con la tolerancia al estrés hídrico en genotipos de trigo primaveral con y sin fenotipo stay-green.

Felipe Moraga (Doctorante)
Prof. Alejandro del Pozo
Dr. Gustavo Lobos



Caracteres asociados al rendimiento en sequía

Fotoprotección

- **Morfología de la hoja:**
 - ceras/pubescencia
 - postura/enrollamiento
- **Pigmentos**
 - Clorofila a:b
 - Carotenoides
- **Antioxidantes**

Eficiencia de transpiración

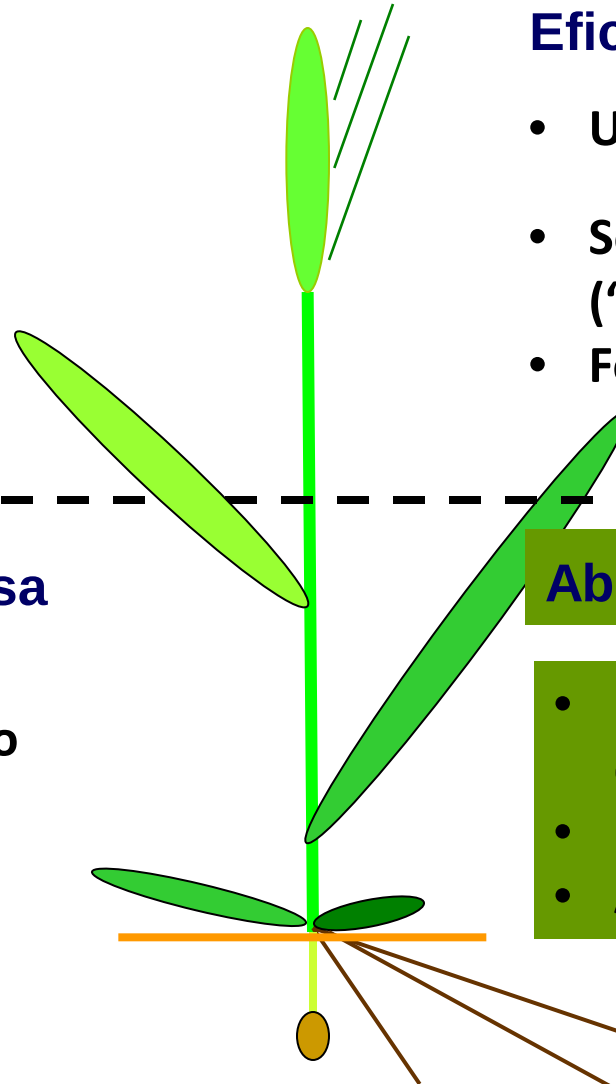
- **Uso eficiente del agua**
 - alta discriminación $^{12/13}\text{C}$
- **Senescencia retardada**
("stay- green")
- **Fotosíntesis de espigas**

Partición de la biomasa

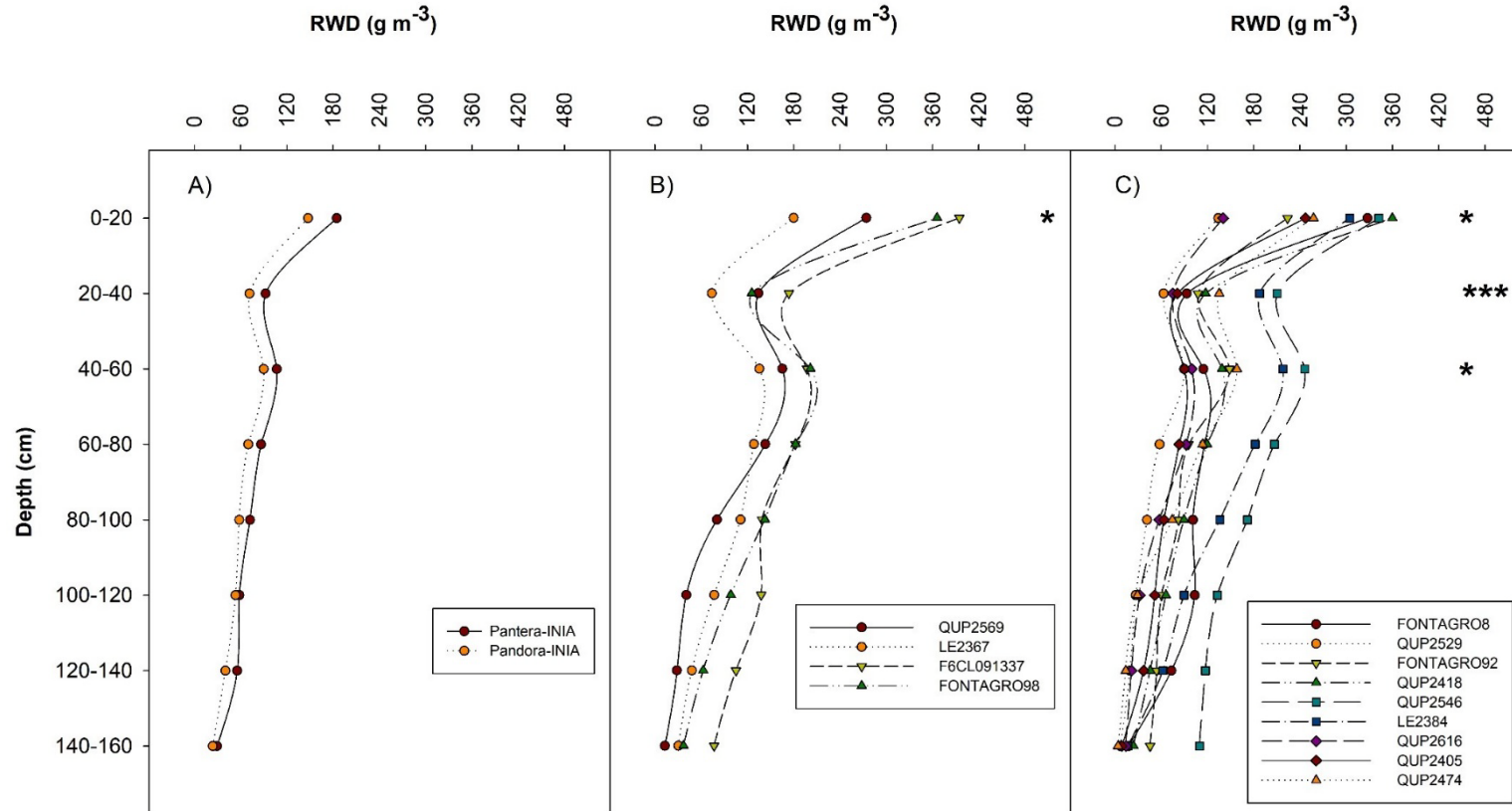
- **Acumulación de carbohidratos en el tallo antes de antesis**
- **Índice de cosecha**

Absorción de agua

- **Distribución y profundidad de raíces**
- **Doseles mas fríos**
- **Ajuste osmótico**

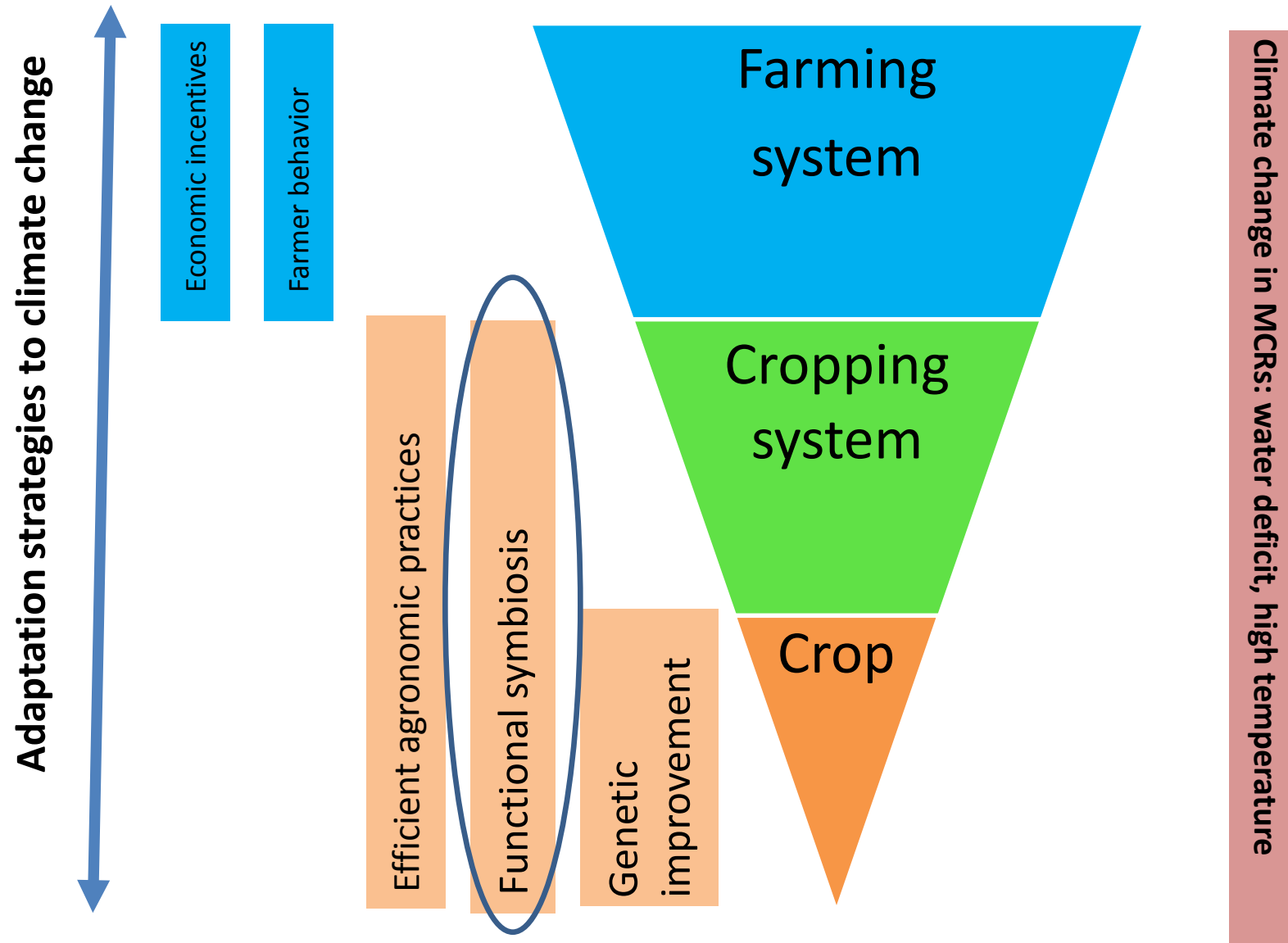


Fenotipado de raíces de cultivares de trigo de primavera con tolerancia contrastante al déficit hídrico: arquitectura de raíces y rasgos funcionales



Dra. Nidia Brunel
(Postdoc)

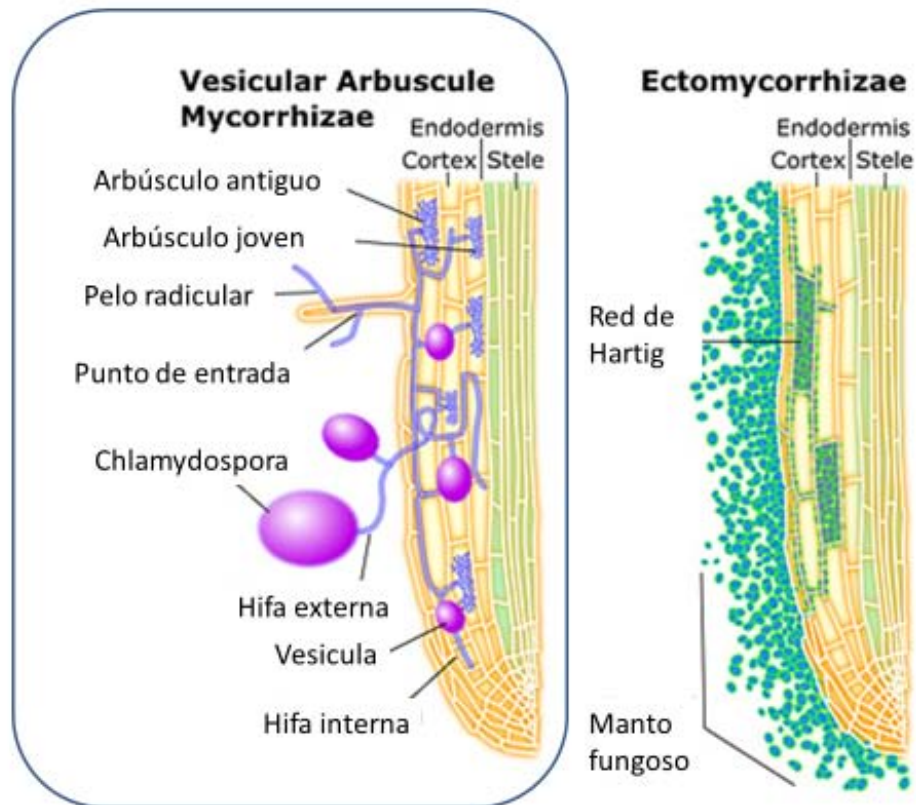
- La biomasa aérea total (AB) no fue significativamente diferente entre los 15 genotipos, pero si la biomasa total de raíces (RB) y la distribución de densidad de peso de las raíces (RWD) en el perfil del suelo.
- El uso del agua (WU) se correlación con RWD.



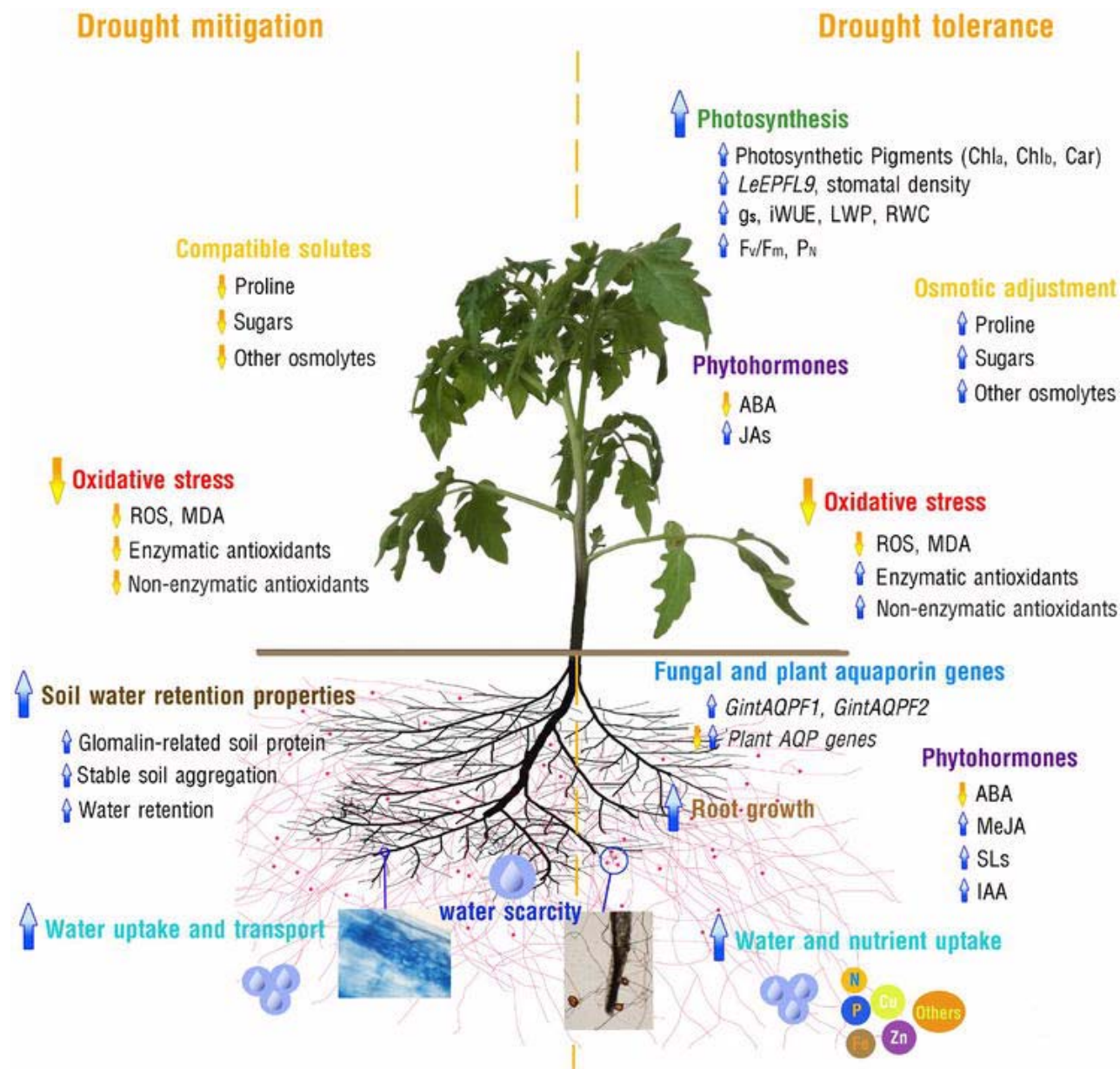
del Pozo et al. (2019) Sustainability 11, 2769. doi:10.3390/su11102769 (IF: 2.585)

Simbiosis funcional entre plantas y microorganismos

- Simbiosis funcional, definida como la asociación permanente entre dos o más específicamente organismos distintos, al menos durante una parte del ciclo de vida.

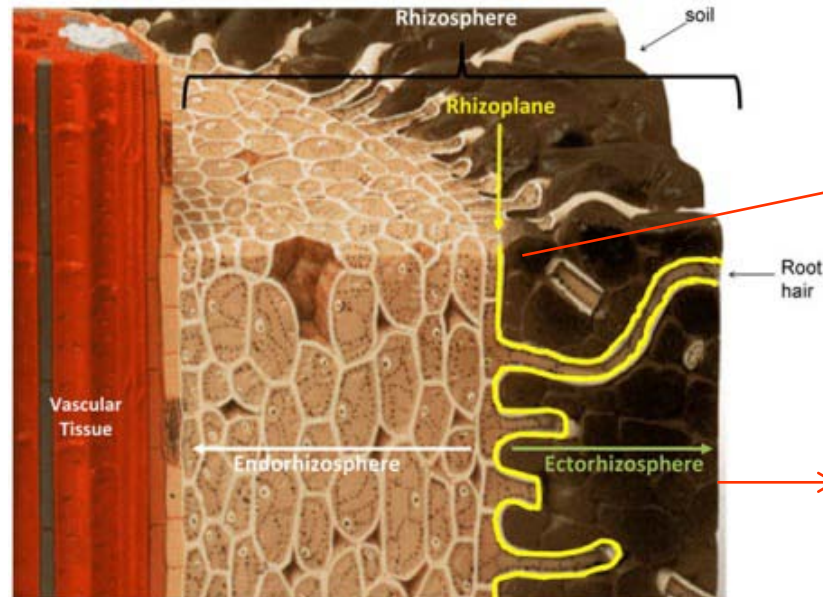


Los hongos mutualistas pueden conferir tolerancia a la sequía, metales pesados, enfermedades, calor y plagas, y / o promover el crecimiento y la adquisición de nutrientes, y mejorar eficiencia del uso del agua.



Katalin Posta and Nguyen Hong Duc (2019)

Bacterias rizosféricas promotoras del crecimiento vegetal (PGPR: Plant growth promoting rhizobacteria)

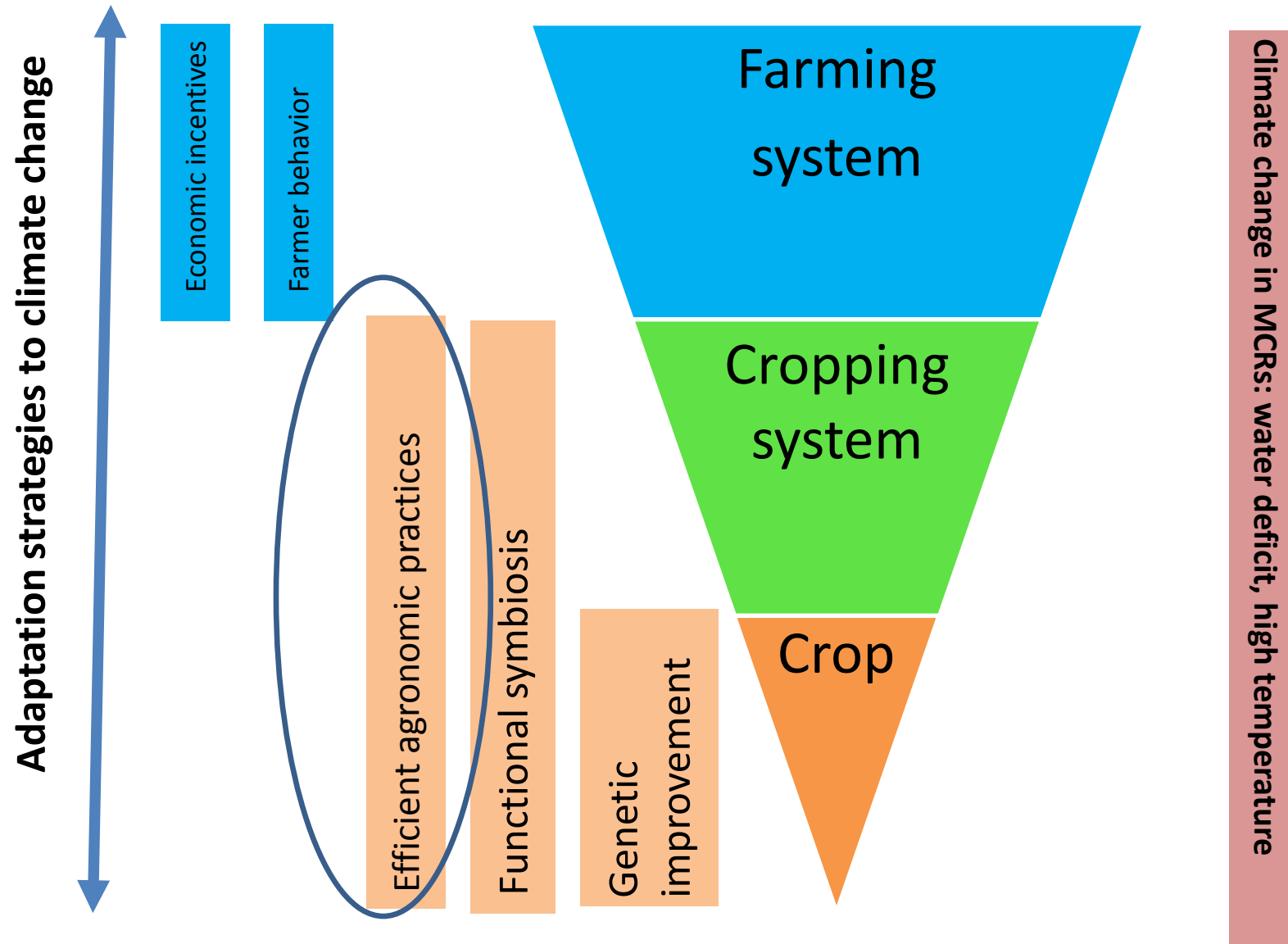


**Bacterias de endo y
exorizósfera**

**Microorganismos de
vida libre**

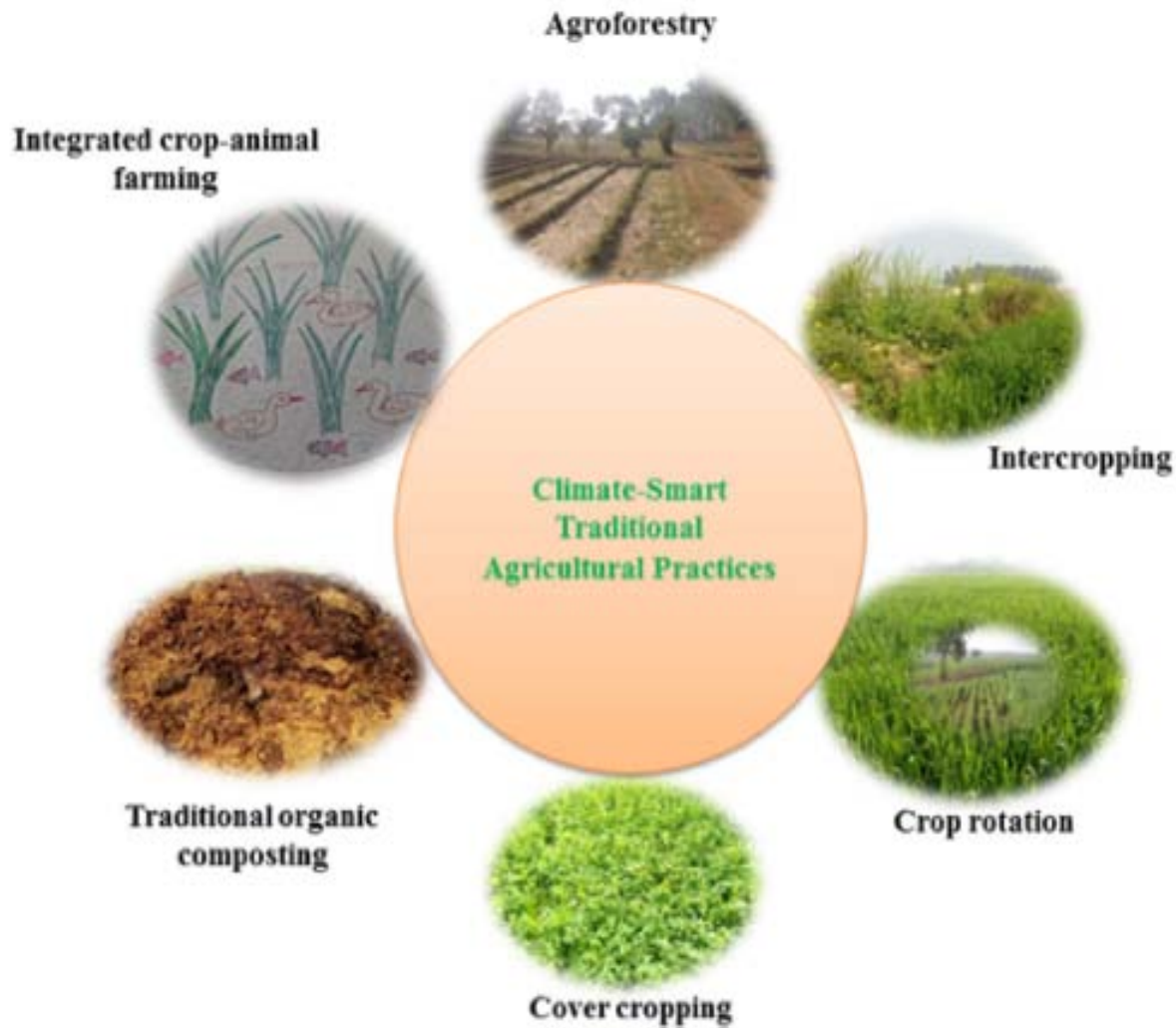
Géneros mas reconocidos

- *Pseudomonas*
- *Azospirillum*
- *Azotobacter*
- *Bacillus*
- *Rhizobium*
- *Mesorhizobium*



del Pozo et al. (2019) Sustainability 11, 2769. doi:10.3390/su11102769 (IF: 2.585)

Adaptación via uso de prácticas agronómicas eficientes

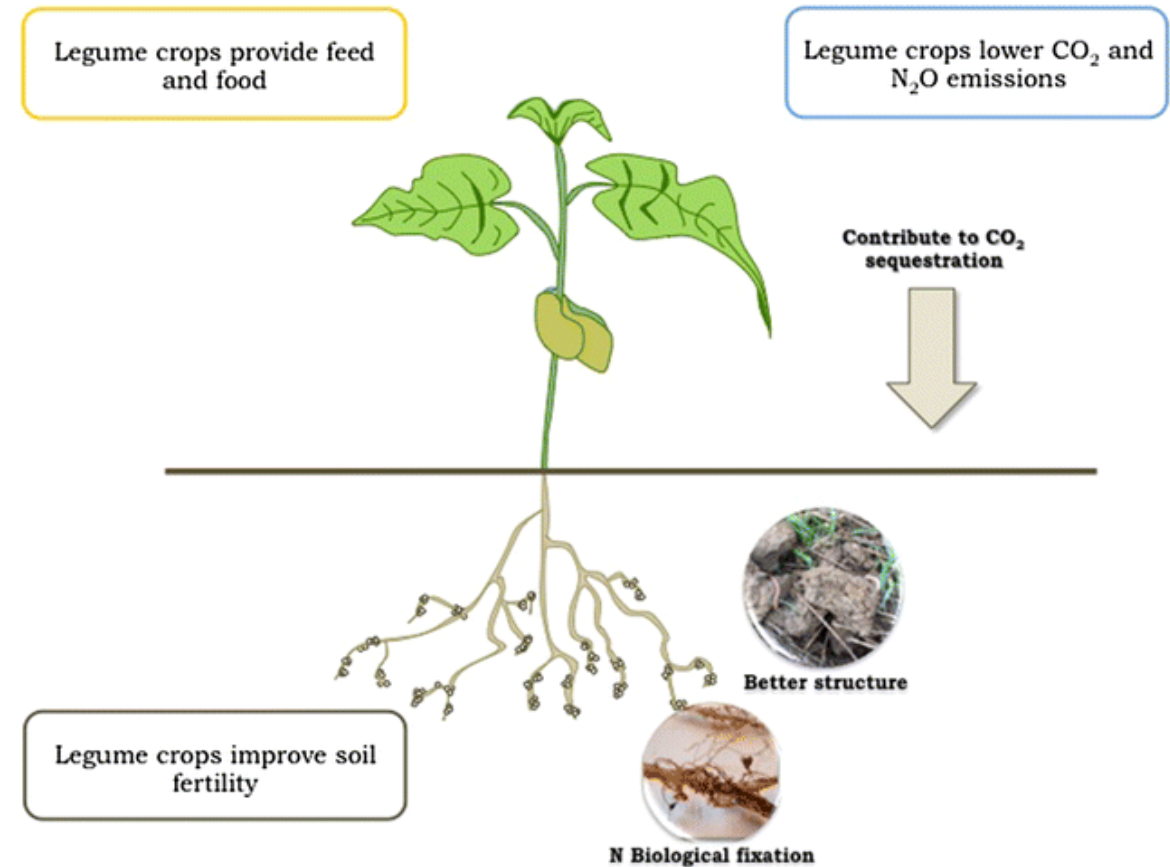


Las prácticas agronómicas eficientes deberían centrarse en prevenir una mayor degradación de los recursos de suelo y agua y maximizar el uso del agua disponible, según el tipo de agricultura. Se dispone de una serie de prácticas agronómicas para los sistemas de producción bajo riego y de secano.

Energ. Ecol. Environ. (2017) 2(5):296–316

Uso de leguminosas en los sistemas productivos

- Hay una amplia diversidad de especies de leguminosas tanto de granos como forrajeras
- Fijan nitrógeno atmosférico a través de la asociación simbiótica con bacterias
- Tienen una amplia adaptación a tipos de suelo y condiciones climáticas
- Presentan una alta calidad nutritiva
- Permiten mejorar la fertilidad y sanidad del suelo



Leguminosas de grano



Arveja
(*Pisum sativa*)



Lupino amarillo
(*Lupinus luteus*)



Lupino de hoja angosta
(*Lupinus angustifolius*)



Lupino blanco
(*Lupinus albus*)



Lenteja
(*Lens culinaris*)



Haba
(*Vicia faba*)



Garbanzo
(*Cicer arietinum*)



Vicia
(*Vicia sativa*)



Soja
(*Glycine max*)



Frejol
(*Phaseolus vulgaris*)

Leguminosas forrajeras



*Trifolium
subterraneum*



Medicago spp



*Ornithopus
compressus*



*Ornithopus
compressus*



Biserula penisilus



T. micheleanum



T. vesiculosum



Alfalfa
(*Medicago sativa*)

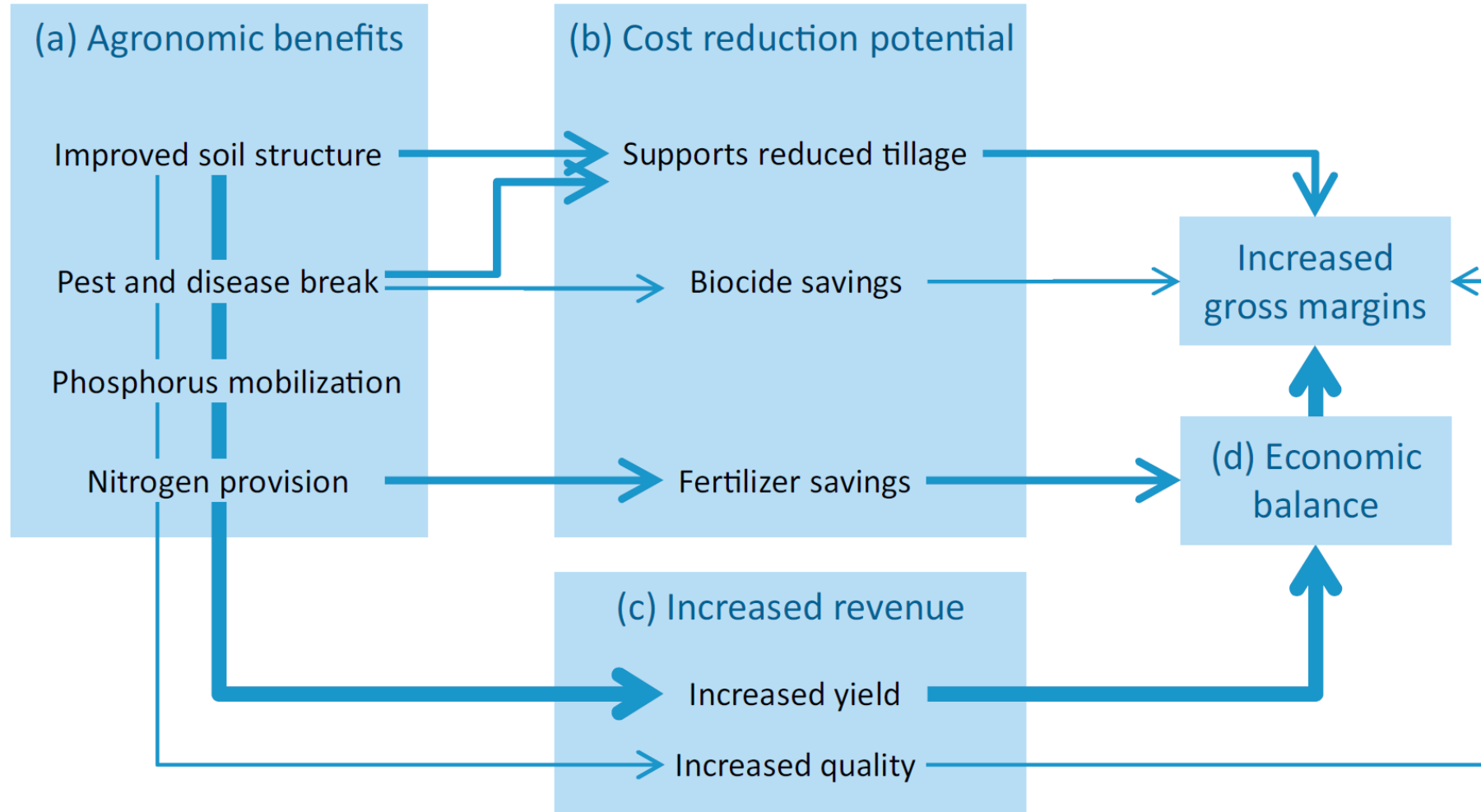


Lotera
(*Lotus corniculatus*)



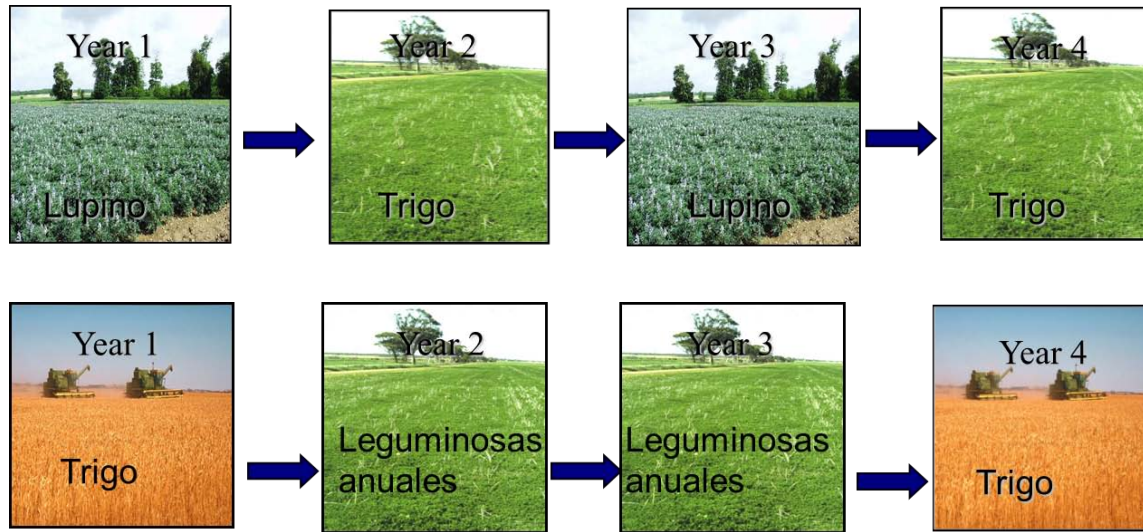
Sulla
(*Hedysarum coronarium*)

Beneficios de las leguminosas en los sistemas de cultivo

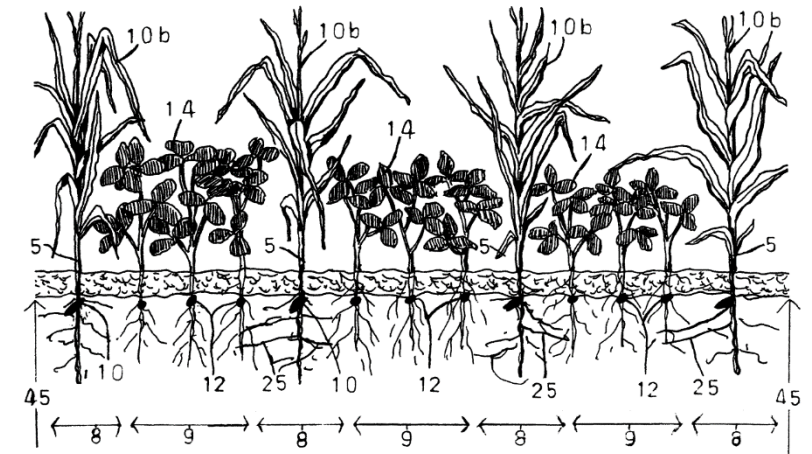


Uso de leguminosas en los sistemas productivos

- En rotaciones con cereales



- Como cultivos intercalados



- Como cubiertas vegetales (“cover crops”)



- Como abonos verdes





Field Crops Research

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Field Crops Research

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

Contribution of legumes to wheat productivity in Mediterranean environments of central Chile

S. Espinoza^{a,b}, C. Ovalle^{a,*}, E. Zagal^b, I. Matus^a, J. Tay^a, M.B. Peoples^c, A. del Pozo^d

^a Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile

^b Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Casilla 537, Chillán, Chile

^c CSIRO Sustainable Agriculture National Research Flagship, CSIRO Plant Industry, G.P.O. Box 1 600, Canberra, ACT 2601, Australia

^d Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias, Casilla 747, Talca, Chile



Metodología

Rotación-1 CAUQUENES

Tratamientos	6
Repeticiones	4
Tamaño parcela (4*5)(m ²)	20
Tamaño del ensayo (m ²)	480



Rotación-1 YUNGAY

Tratamientos	6
Repeticiones	4
Tamaño parcela (3*6)(m ²)	18
Tamaño del ensayo (m ²)	432



Secano Interior
(Mediterráneo sudhúmedo)
(35° 56' 38,23" S, 72° 16' 51,97" O)
Serie de suelos Cauquenes, Alfisol



Precordillera Andina
(Mediterráneo húmedo)
(37° 4' 31,87" S, 72° 2' 22,87" O)
Serie de suelos Santa Bárbara, Andisol



Biomasa aérea, contenido de N en la materia seca, porcentaje de N derivado del aire (%Ndfa) y rendimiento de grano de leguminosas. Valores son promedio de dos años.

Grain legume	Dry matter (kg ha ⁻¹)	N content (kg N ha ⁻¹)	Ndfa (kg N ha ⁻¹ año ⁻¹)	Grain yield (t ha ⁻¹)
Secano interior				
<i>Pisum sativum</i>	11022 a	321 a	220 a	1.995 b
<i>Lupinus angustifolius</i>	6211 b	184 b	130 b	2.234 a
<i>Lupinus luteus</i>	4874 c	152 c	129 b	1.464 c
Vetch	1894 d	49 d	46 d	-
Precordillera				
<i>Pisum sativum</i>	7952 a	238 a	160 a	3.195 b
<i>Lupinus angustifolius</i>	5232 b	130 b	110 b	3.013 b
<i>Lupinus albus</i>	6766 b	193 a	224 a	3.836 a
Vetch	3313 d	82 b	72 c	-



Rendimiento de granos de trigo en rotaciones en secano interior y precordillera andina (años 2009 y 2010)

Precultivo	Secano Interior (t/ha)	Precordillera (t/ha)
Avena sin N	1,33 d	4,11
Avena con N	3,03 a	7,75 a
<i>L. angustifolius</i>	2,83 b	5,22 c
<i>L. luteus/L. albus</i>	2,57 (<i>L. luteos</i>) b	5,44 (<i>L. albus</i>) c
Arveja	2,64 b	6,31 b
Avena-Vicia	1,78 d	7,89 a

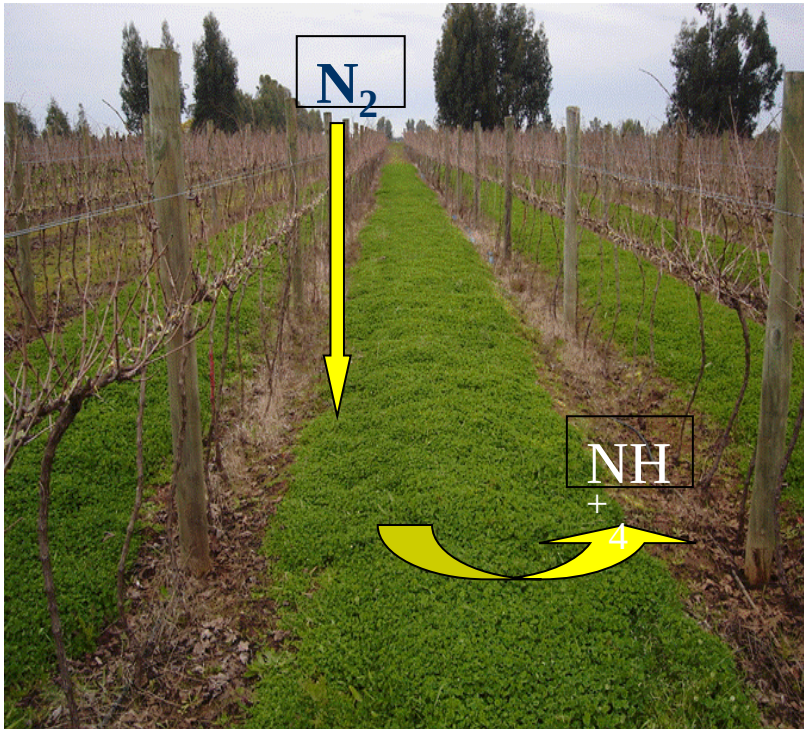
Estimating the contribution of nitrogen from legume cover crops to the nitrogen nutrition of grapevines using a ^{15}N dilution technique

Carlos Ovalle • Alejandro del Pozo •
Mark B. Peoples • Arturo Lavín

Received: 22 October 2009 / Accepted: 1 April 2010 / Published online: 20 April 2010
© Springer Science+Business Media B.V. 2010



Transferencia de N desde las leguminosas hacia el frutal mediante ¹⁵N abundancia natural de ¹⁵N

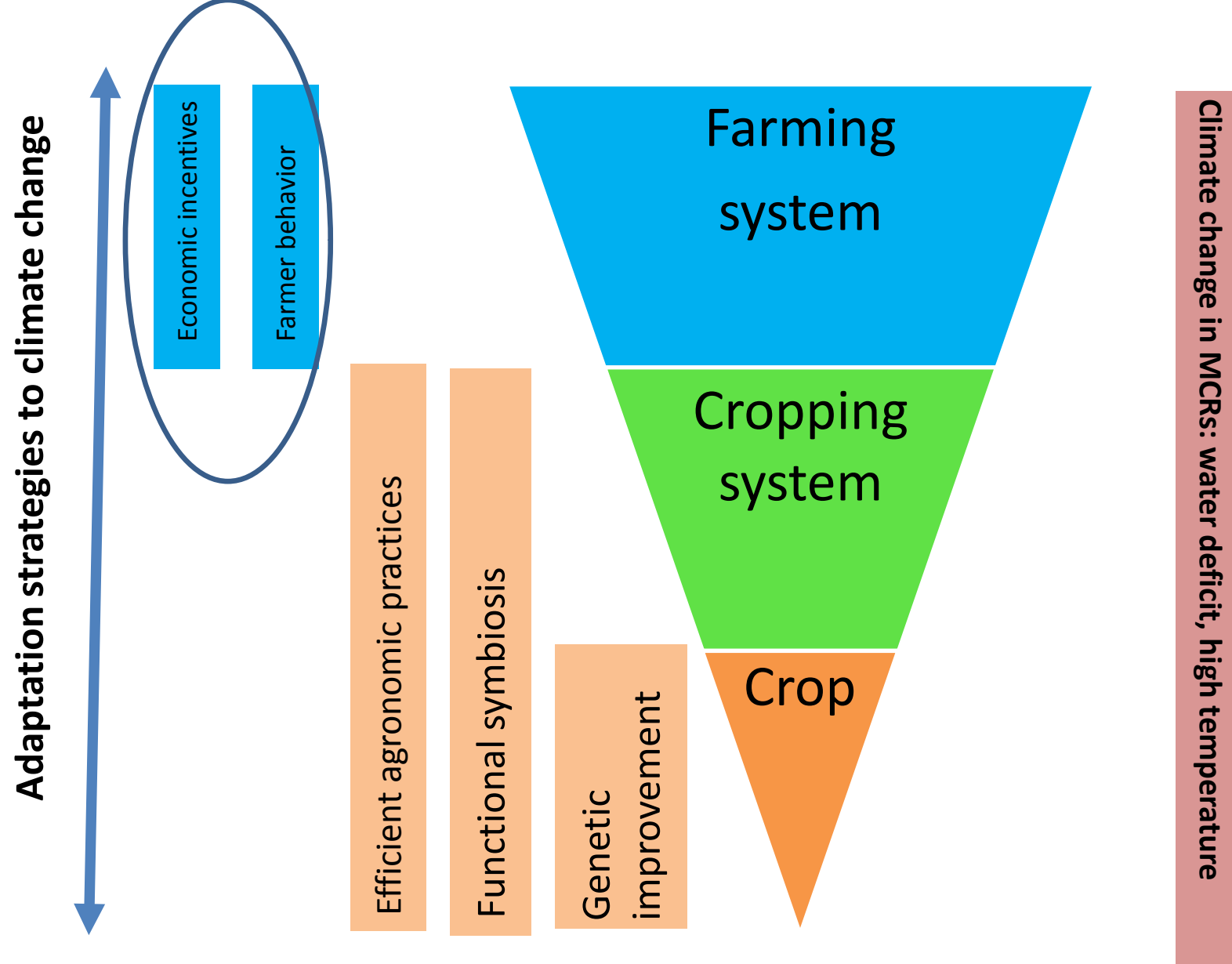


Cover crop	Leaves	Canes	Fruit	Trunk	Roots	Plant	Total
N derived from legume cover crops (g N plant ⁻¹)							(kg N ha ⁻¹)
EMC	0.29	0.10	0.07	0.22	0.78	1.46	11.7
LMC	0.57	0.09	0.16 a	0.21	0.90	1.92	15.4

Productividad del viñedo con y sin cubiertas vegetales, en Cauquenes con riego por goteo

Treatment	2005-2006		2006-2007	
	Number of bunches	Grape production (kg ha ⁻¹)	Number of bunches	Grape production (kg N ha ⁻¹)
Control	11 ± 2.4 a*	7,368 ± 378 a	9 ± 1.5 b	5,952 ± 289 b
EMC	8.3 ± 1.3 a	4,728 ± 274 b	10 ± 2.5 b	8,824 ± 474 a
LMC	10.2 ± 2.1 a	6,736 ± 293 a	14 ± 2.4 a	9,560 ± 348 a

Ovalle et al. 2010. Plant and Soil 334: 247-259



del Pozo et al. (2019) Sustainability 11, 2769. doi:10.3390/su11102769 (IF: 2.585)

Adaptación al CC por los agricultores

FACTORES QUE AFECTAN LA ADAPTACION

Factores estructurales:

- Nivel de educación
- Edad (relación inversa)
- Capital físico
- Acceso a crédito
- Acceso a información

Factores sicológicos:

- Conciencia de impacto de CC
- Percepción de capacidad de adaptación (self-efficacy)
- Capacidad innovadora

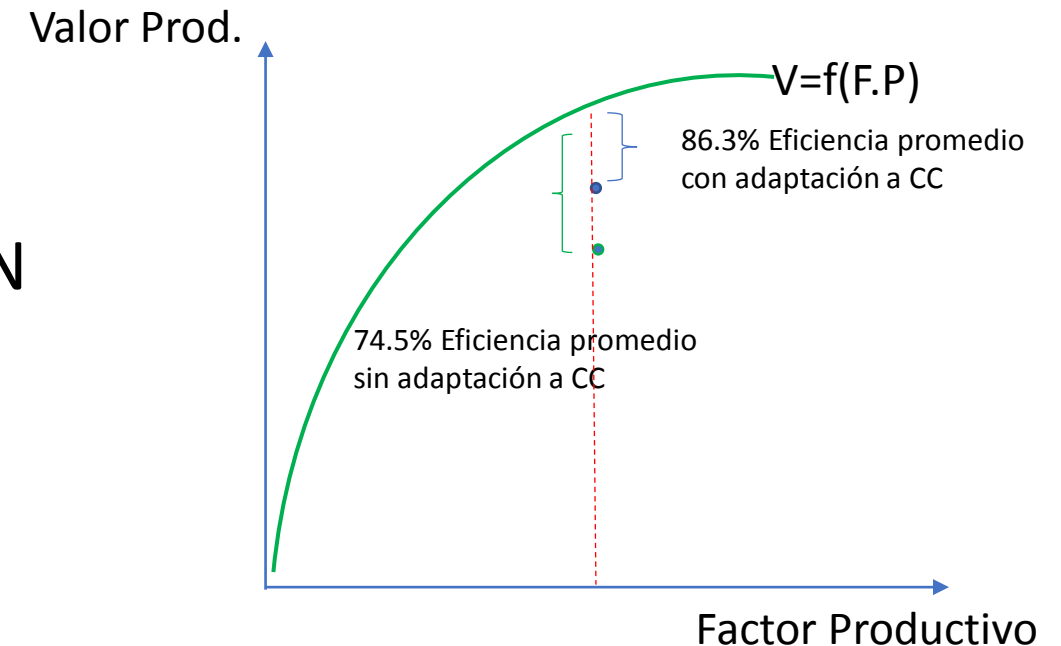
Factores sociales:

- Redes de interacción

Revisión literatura y estudios propios

IMPACTO DE ADAPTACION

ADAPTACIÓN



Valores estimados para una muestra de productores de cultivos anuales de la Región del Maule. Como a adaptación se considera la adopción de al menos dos prácticas de adaptación a CC (Roco, et al, 2017)

Participantes

Universidad de Talca

- ☐ Prof. Alejandro del Pozo
- ☐ Dr. Gustavo Lobos
- ☐ Dra. Ana María Méndez
- ☐ Dr. Miguel Garriga
- ☐ Dr. Sebastián Romero
- ☐ Dr. Abdelhalim Elazab
- ☐ Ing. Ag. Pablo Madariaga

Universidad de Barcelona

- ☐ Prof. José Luis Araus
- ☐ Dr. Shawn Kefauver

INIA

- ☐ Dr. Iván Matus
- ☐ Dra. Dalma Castillo
- ☐ Dr. Claudio Jobet
- ☐ Dr. Carlos Ovalle
- ☐ Dr. Luis Inostroza
- ☐ Dra. Soledad Espinoza
- ☐ Ing. Agron. Viviana Barahona

- ☐ Dr. Alan Humphries (SARDI, Australia)



Plant
Breeding
and
Phenomic
Center

En nuestro centro de **Mejoramiento Genético y Fenómica Vegetal** estudiamos la adaptación de cultivos a condiciones adversas y seleccionar líneas/cultivares mas tolerantes a estreses ambientales





MUCHAS GRACIAS

Rendimiento de trigo después de trigo versus después de **leguminosas de grano**

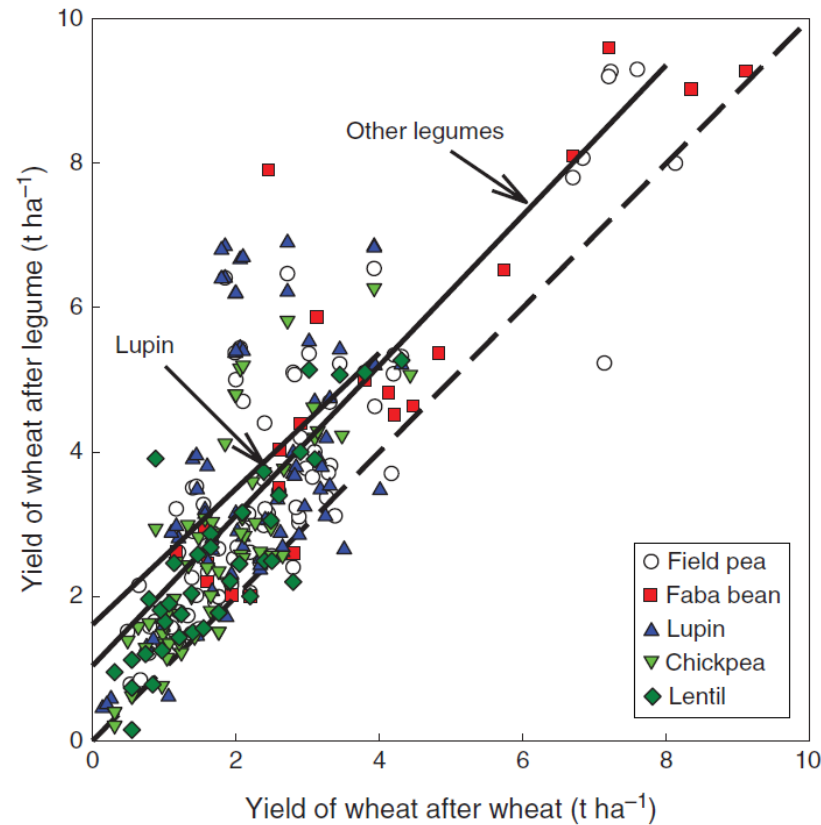
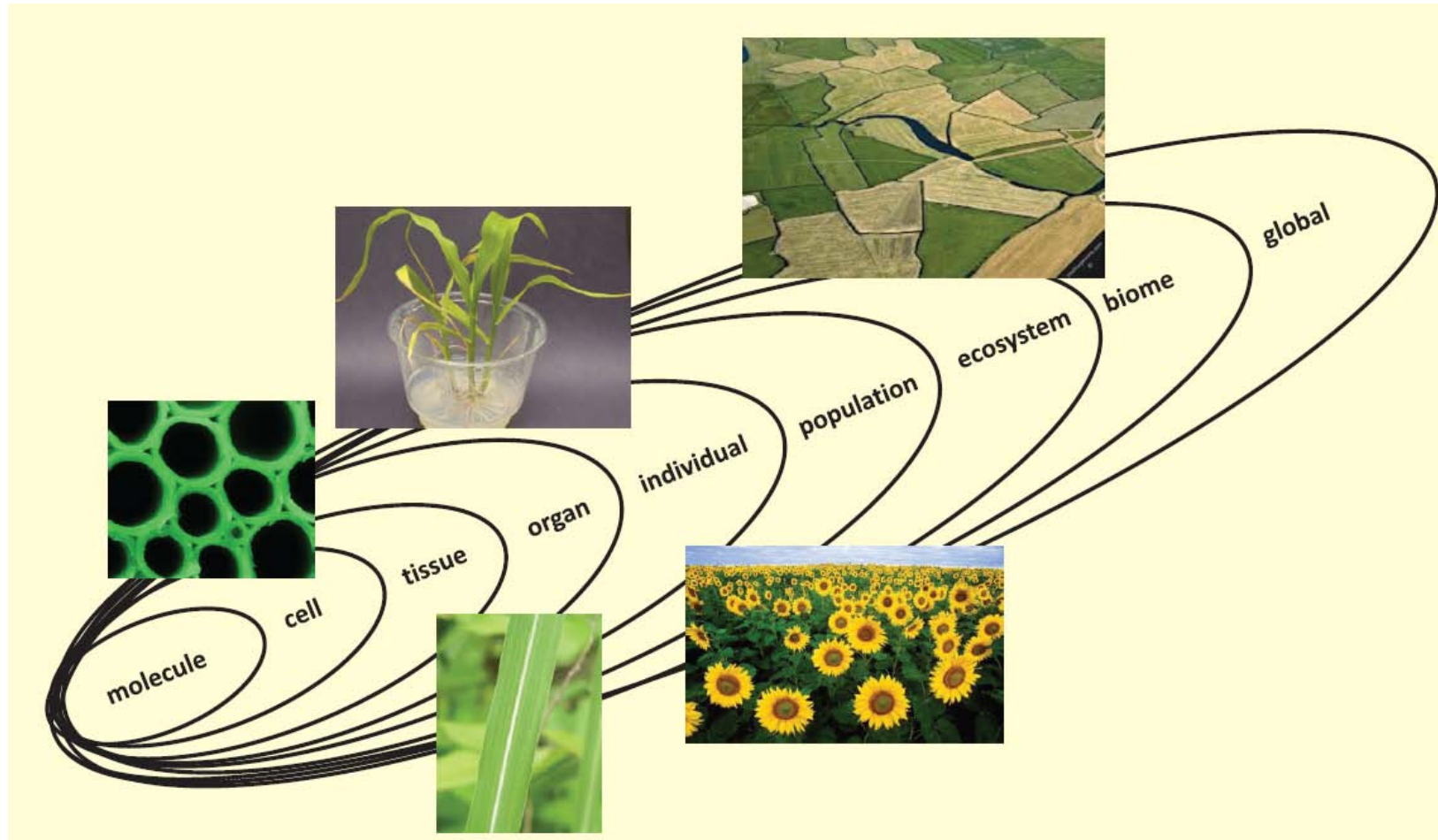


Fig. 4. Yield of wheat grown after grain legumes compared with wheat after wheat growing in the same experiments. The dashed lines represent equal yields and the solid lines fitted equations reported in Table 4.



Crop & Pasture Science, 2015, 66, 523–552

Niveles de organización y escalabilidad



Sadras & Richard (2014): J. Exp. Bot. 55: 1981-1995

Alfalfa: Landraces of alfalfa as a source of germplasm tolerant to abiotic stresses: selecting plant-rhizobia genotypes for a harsh future environment

Fondecyt 2018-2022/Global Crop Diversity Trust

- ❑ To phenotype for drought tolerance and nitrogen fixation a set of 70 alfalfa populations from primary (50 from Kazakhstan and Azerbaijan) and secondary centers (20 from northern Andes; Chile) of origin in a dryland Mediterranean environment.
- ❑ To identify elite genotypes from each population and to phenotype and genotype individual plants, using SNPs markers identified through genotyping by sequence (GBS).
- ❑ To perform genome wide association analysis (GWAS) using the genotypic and phenotypic data.
- ❑ To study the variability in symbiotic effectiveness and persistence of naturalised rhizobia collected from stressful environments.

Dr. Carlos Ovalle (INIA)
Prof. Alejandro del Pozo
Dr. Luis Inostroza (INIA)
Dra. Macarena Gerding (Udec)
Dra. Soledad Espinoza (INIA)
Viviana Baraona, MSc
Alan Humphries (SARDI, Australia)



- La adopción de prácticas de adaptación por parte de los agricultores son necesarias e indispensables para reducir los impactos de CC y aumentar la productividad agrícola.
- Para ello no solo es importante generar tecnologías de adaptación, sino también comprender los factores asociados con la capacidad de adaptación, así como para desarrollar estrategias para transferir tales tecnologías a los agricultores.
- Por ejemplo, la percepción y comportamiento de los agricultores son aspectos relevante en la decisión del agricultor de adaptarse.
- Las políticas públicas no solo deberían proporcionar incentivos individuales específicos para la adaptación, sino también incentivos para construir redes, sistemas de innovación y arreglos institucionales que apuntan a crear un ambiente favorable.