



Contribución de leguminosas fijadoras de nitrógeno a la productividad del trigo en ambientes mediterráneos de Chile central

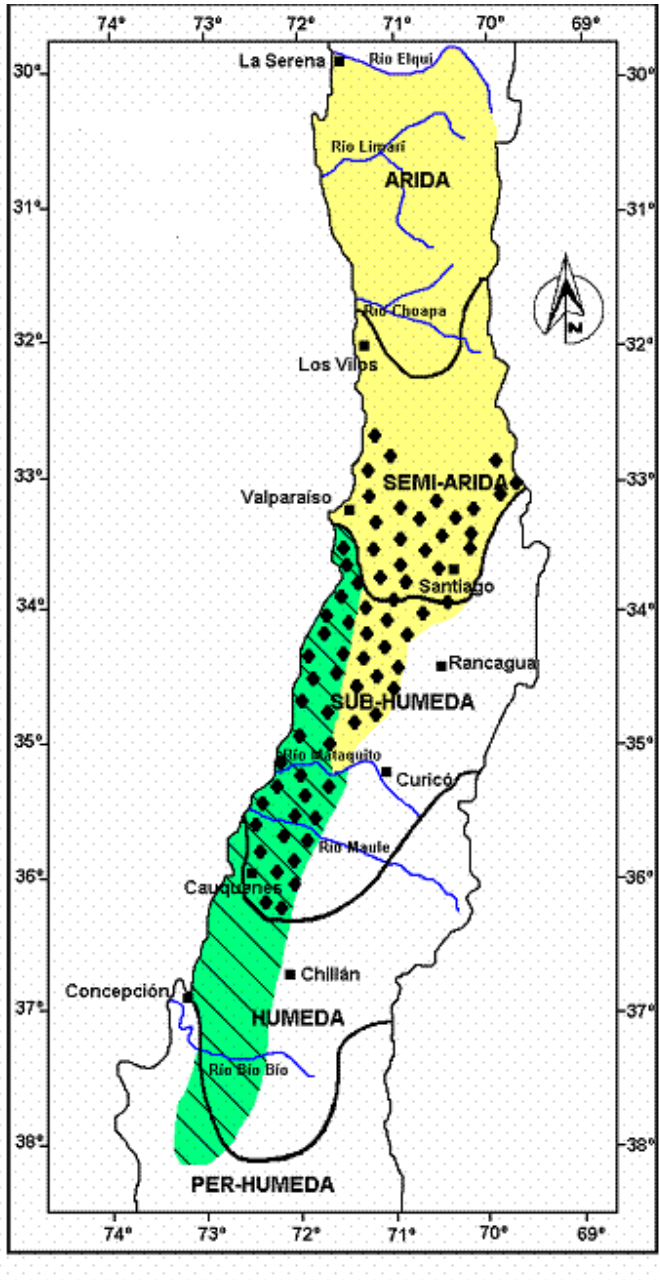
Alejandro del Pozo

Facultad de Ciencias Agrarias

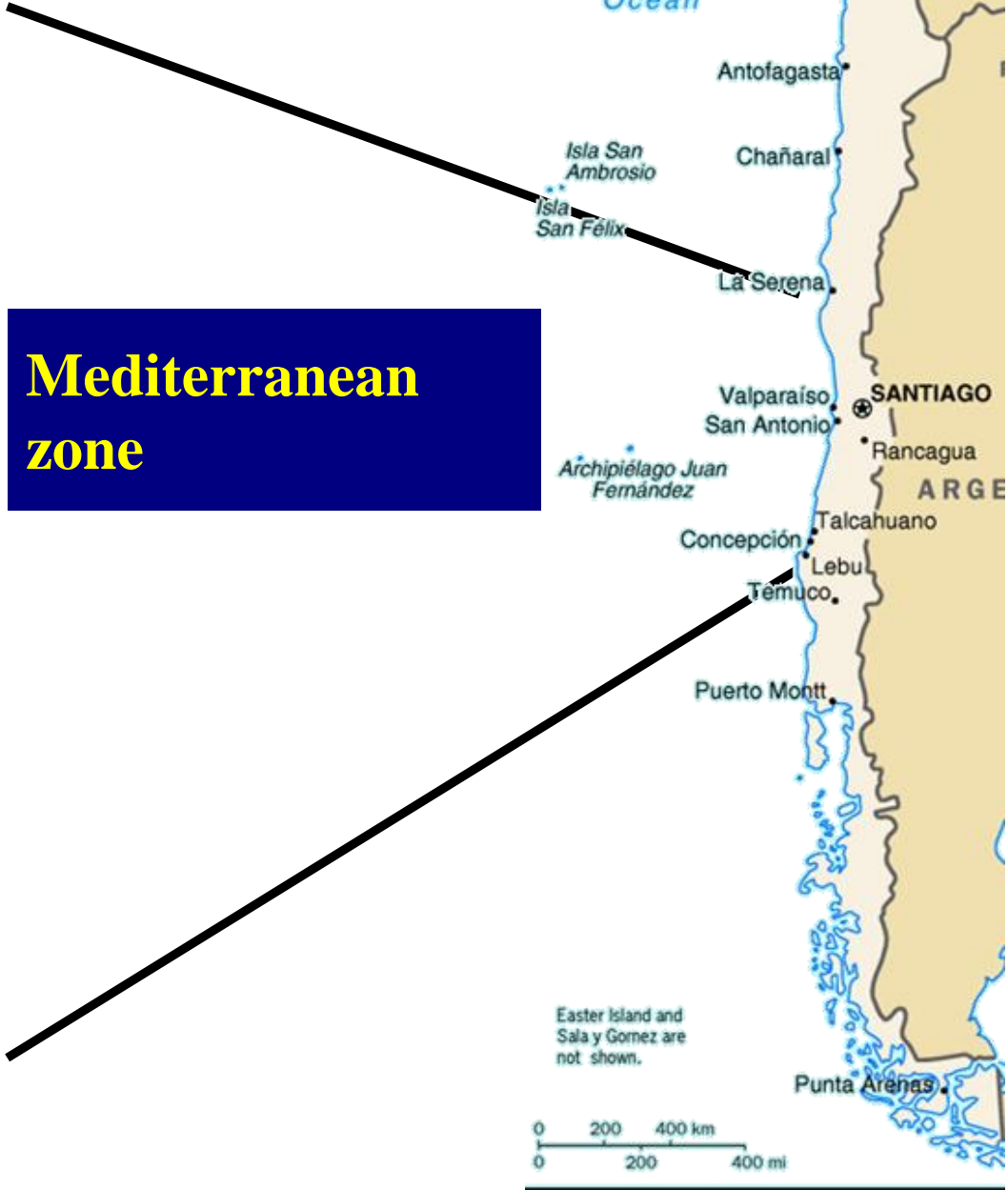
Universidad de Talca



**Universidad de
Concepción**



Mediterranean zone

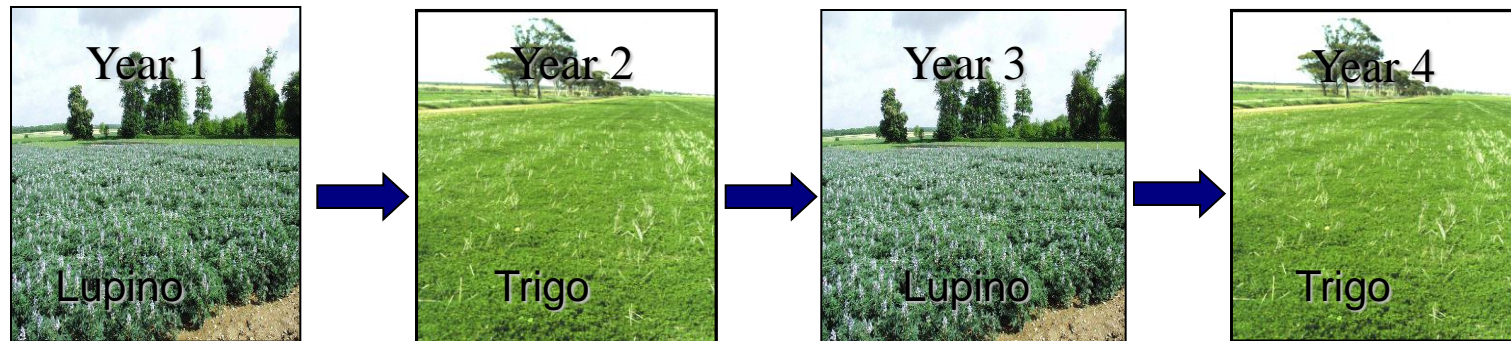
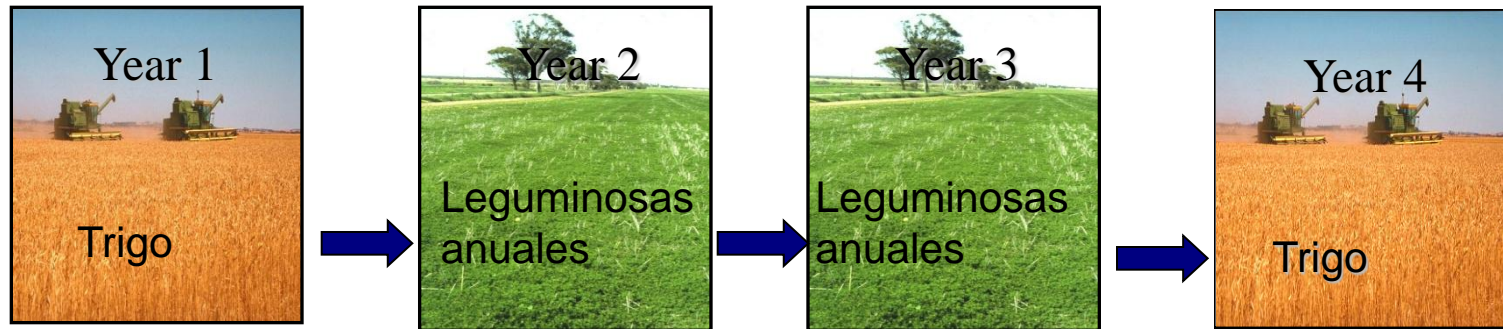




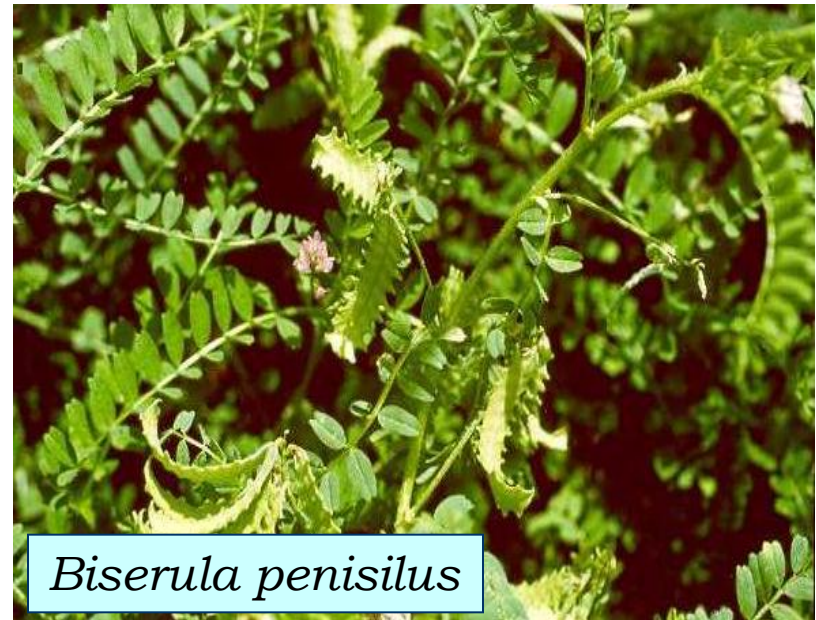
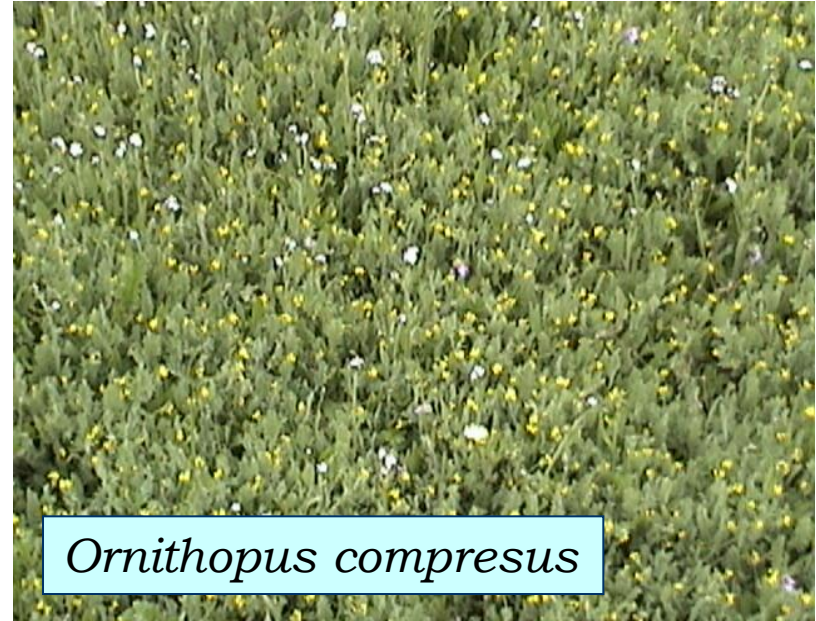
Superficie de cereales en la zona Mediterránea de Chile (2010/2011)

Región	Trigo	Avena	Cebada	Maíz	Arroz
Valparaíso	1,914	-	-	1,566	-
Metropolitana	8,032	-	-	15,217	-
O'Higgins	9,865	1,373	-	54,530	61
Maule	30,927	2,848	638	34,676	20,851
Bío Bío	70,966	23,532	3,180	12,514	4,209
Pais	271,415	105,643	20,184	119,819	25,121

Rotaciones de trigo y leguminosas



Leguminosas anuales



Leguminosas anuales



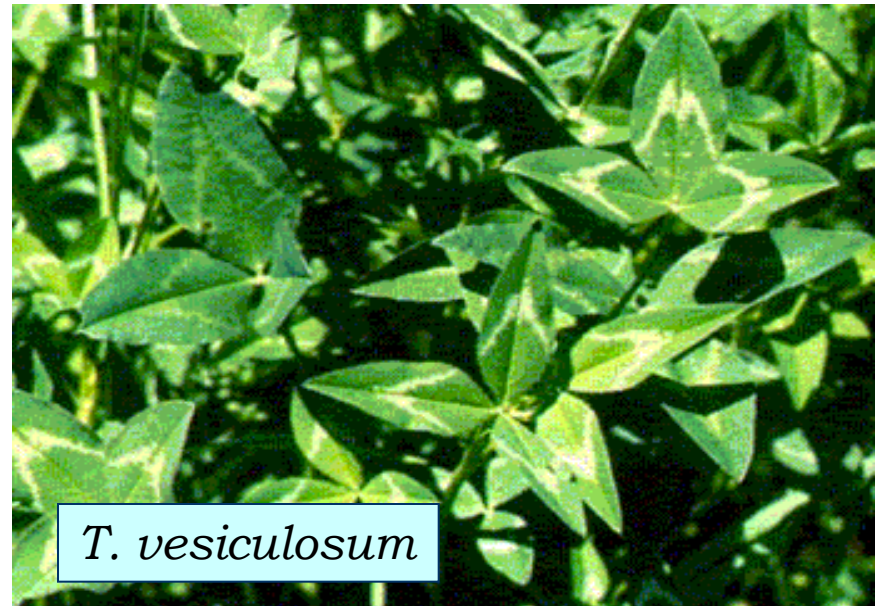
T. michelianum



T. resupinatum



T. subterraneum



T. vesiculosum

Diferencias regionales en la dependencia del N de fijación y de fertilizante



Region

Legume

Fertilizer

N-fixation

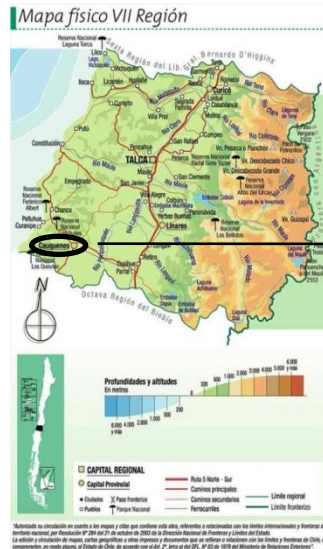
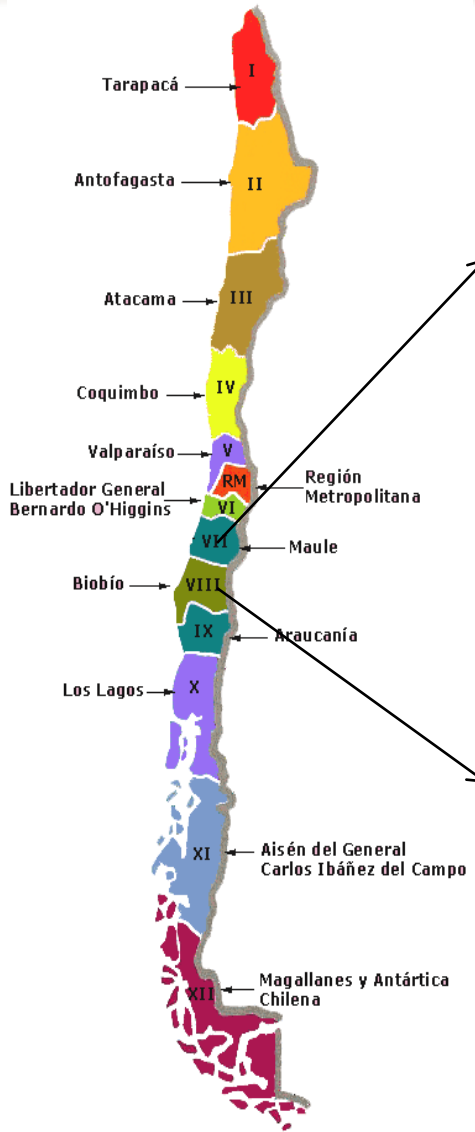
(Million t N/yr)

Asia	19	47
Europe	3	14
North America	8	14
Africa	3	5
Latin America	9	6
Australia	4	1
Total Global	46	87

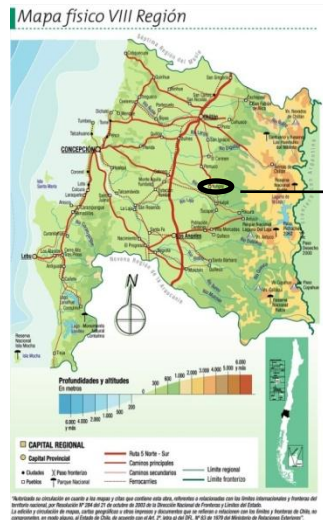
>90% from pastures



Sitios de Estudio



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





Objetivos

1. Determinar la fijación biológica de nitrógeno y la acumulación de N en cultivos de leguminosas anuales forrajeras y de grano, en rotación con cereales.
2. Evaluar mediante métodos isotópicos la recuperación de N proveniente de las leguminosas, en el cultivo de cereales bajo diferentes intensidades de rotación.
3. Construir un balance de N en sistemas rotaciones pradera - cultivo, para áreas de secano interior y precordillera Andina de la zona Mediterránea subhúmeda y húmeda de Chile.



Metodología

Secano interior

Rotación-1

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



Avena
Urano C/N



Avena
Urano S/N



L. angustifolius
cv. Wonga



L. luteus
cv. Motiv



Pisum sativum
cv. Rocket



Avena - Vicia

Rotación-2

Tratamientos	8
Repeticiones	4
Tamaño parcela (6*6)(m ²)	36
Tamaño del ensayo (m ²)	1152



Ballica



Avena Urano



Trigo
Pandora-INIA



T. subterraneum + *M. polymorpha*
+ *T. micheleanum*



T. subterraneum + *B. pelecinus*
+ *O. compressus*





Metodología

Precordillera andina

Rotación-1

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



Avena
Urano C/N



Avena
Urano S/N



L. angustifolius
cv. Wonga



L. albus
cv. Rumbo



Pisum sativum
cv. Rocket



Avena - Vicia

Rotación-2

Tratamientos	8
Repeticiones	4
Tamaño parcela (6*6)(m ²)	36
Tamaño del ensayo (m ²)	1152



Lolium



Avena Urano



Trigo
cv. Rupanco-INIA



T. subterraneum +
T. incarnatum



T. subterraeum+ *T. vesiculosum* +
O. compressus





Rotación - 1	Año			
	2008	2009	2010	2011
Avena C/N	Av	Tr	Av	Tr
Avena S/N	Av	Tr	Av	Tr
<i>L. Angustifolius</i>	Lan	Tr	Lan	Tr
<i>L. (albus o luteus)</i>	Lal	Tr	Lal	Tr
Arveja	Arv	Tr	Arv	Tr
Vicia-Avena (incorporada)	V-A	Tr	V-A	Tr

Rotación - 2	Año			
	2008	2009	2010	2011
Ballica	B	B	B	B
Avena C/N	Av	Tr	Av	Tr
Mezcla L1	<u>L1</u>	Tr	<u>L1</u>	Tr
Mezcla L1	Tr	<u>L1</u>	<u>L1</u>	Tr
Mezcla L1	<u>L1</u>	<u>L1</u>	<u>L1</u>	Tr
Mezcla L2	L2	Tr	L2	Tr
Mezcla L2	Tr	L2	L2	Tr
Mezcla L2	L2	L2	L2	Tr



**Biomasa aérea, contenido de N y rendimiento de granos de leguminosas.
Valores promedio de 2008 y 2009.**

Rotación	MS aérea (kg ha ⁻¹)	Contenido N (kg N ha ⁻¹)	Grano (kg ha ⁻¹)
Secano interior			
<i>Pisum sativum</i>	11022 a ¹	321 a	1995 b
<i>Lupinus angustifolius</i>	6211 b	184 b	2234 a
<i>Lupinus luteus</i>	4874 c	152 c	1464 c
Avena-Vicia (MS)	4734 c	58 d	-
Precordillera Andina			
<i>Pisum sativum</i>	7952 a	238 a	3195 b
<i>Lupinus angustifolius</i>	5232 b	130 b	3013 b
<i>Lupinus albus</i>	6766 b	193 a	3836 a
Avena-Vicia (MS)	8035 a	127 b	-

¹Existe diferencia mínima significativa (DMS) entre tratamientos (P≤0,05).



Rendimiento

Rendimiento de fitomasa aérea de las praderas de leguminosas forrajeras anuales

Tratamientos	Especies	Rendimiento (t MS ha ⁻¹)
Precordillera Andina		
L1	<i>T. subterraneum</i> + <i>T. incarnatum</i>	8,4 b ¹
L2	<i>T. subterraneum</i> + <i>T. vesiculosum</i> + <i>Ornithopus compressus</i>	14,8 a
Secano interior		
L1	<i>T. subterraneum</i> + <i>Medicago polymorpha</i> + <i>T. michelianum</i>	1,6 a*
L2	<i>T. subterraneum</i> + <i>Biserrula penicilius</i> + <i>Ornithopus compressus</i>	1,4 b

¹ Existe diferencia mínima significativa (DMS) entre tratamientos (P≤0,05)





Metodología para evaluar el N fijado a través del método de abundancia natural de ^{15}N

N_2 atmosférico **0.3663 átomos% ^{15}N** = 0 ‰ átomo exceso

N mineral del suelo **0.3667 – 0.3733 átomos% ^{15}N** = +1.1 to +19.1‰

0.0004 to 0.007 átomos% ^{15}N de diferencia del N_2 atmosférico

$$\delta^{15}\text{N} (\text{‰}) = \frac{1000 \times (\text{muestra átomos\%}^{15}\text{N} - 0.3663)}{0.3663}$$



Estimación de la fijación biológica de N mediante el método de la abundancia natural de ^{15}N :

El % de N derivado de la atmósfera (%Ndfa) se calcula a partir de la abundancia natural de ^{15}N en plantas de leguminosa y plantas referencia no leguminosas (4 especies en cada ambiente):

$$\% Ndfa = \left[\frac{\delta^{15}N_{ref} - \delta^{15}N_{fix}}{\delta^{15}N_{ref} - \beta} \right] * 100$$

Donde β es un valor que depende de la asociación rizobio-leguminosa. En este estudio se ha usado un valor de -0.57 para lupino (Mariotti et al. 1980; Bergensen et al. 1986; Evans et al. 1987; Unkovich et al. 1994a) y -0.66 para arveja (Mariotti et al. 1980; Unkovich et al. 1994a; Holdensen et al. 2007)

**% N fijado por la
planta**

$$\mathbf{N_{dfa} = \%N_{dfa} \times N \text{ Leguminosa}}$$

**N acumulado
durante el
crecimiento**

$$\mathbf{N \text{ Leguminosa} = MS \text{ Leguminosa} \times \%N}$$



Fijación biológica de N mediante el método de la abundancia natural de ^{15}N en el secano interior

Año	Tratamiento	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	Ndfa %	Ndfa (kg ha ⁻¹)	N fijado (kg t MS ⁻¹ año ⁻¹)
2008	Leg. de grano				
	<i>L. angustifolius</i>	1,35 a	58,5 b	134 b	22,9 b
	<i>L. luteus</i>	0,76 b	71,3 a	104 c	24,6 a
	<i>P. sativum</i>	1,24 a	59,6 b	258 a	23,1 b
	<i>Avena-vicia</i>	0,58 b	73,7 a	46 d	8,9 c
	Leg. anual forrajera				
	L1	-0,42 a	88,6 A	46 a	28,0 a
L2	-0,43 a	88,7 a	28 b	20,7 b	
2009	Leg. grano				
	<i>L. angustifolius</i>	0,1 b	88,1 b	121 c	18,5 b
	<i>L. luteus</i>	-0,4 c	97,3 a	152 b	27,7 a
	<i>P. sativum</i>	0,2 b	85,2 c	178 a	16,3 c
	<i>Avena-vicia</i>	0,6 a	80,1 d	41 d	9,7 d



Fijación biológica de N mediante el método de la abundancia natural de ^{15}N en la precordillera Andina

Año	Tratamiento	$\delta^{15}\text{N}$ ‰	Ndfa %	Ndfa (kg ha ⁻¹)	N fijado (kg t MS ⁻¹ año ⁻¹)
2008	Leguminosas de grano				
	<i>L. angustifolius</i>	2,18 a	54,0 d	47 d	15,4 bc
	<i>L. albus</i>	1,57 b	64,3 c	79 c	17,5 b
	<i>P. sativum</i>	0,89 c	74,6 b	202 a	26,7 a
	<i>Avena-vicia</i>	0,23 d	85,3 a	106 b	13,5 c
	Leg. anual forrajera				
	L1	-0,32 a	90,1 a	253 b	30,3 a
	L2	-0,30 a	89,8 a	403 a	27,3 b
2009	Leguminosas de grano				
	<i>L. angustifolius</i>	0,3 a	63,8 b	110 c	14,9 c
	<i>L. albus</i>	-0,3 b	88,8 a	233 a	25,9 a
	<i>P. sativum</i>	-0,1 b	77,9 a	159 b	19,1 b
	<i>Avena-vicia</i>	0,5 a	50,0 c	65 d	7,9 d

Rendimiento de granos de trigo en rotaciones en secano interior y precordillera andina. Promedios 2009 y 2010.

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

Contenido de nitrógeno en granos de trigo en rotaciones en secano interior y precordillera andina. Promedios 2009 y 2010.

Precultivo	Secano Interior (kg N ha⁻¹)	Precordillera (kg N ha⁻¹)
Avena sin N	22	77
Avena con N	51	158
<i>L. angustifolius</i>	47	93
<i>L. luteus/L. albus</i>	44 (<i>L. luteos</i>)	111 (<i>L. albus</i>)
Arveja	45	112
Avena-Vicia	29	147

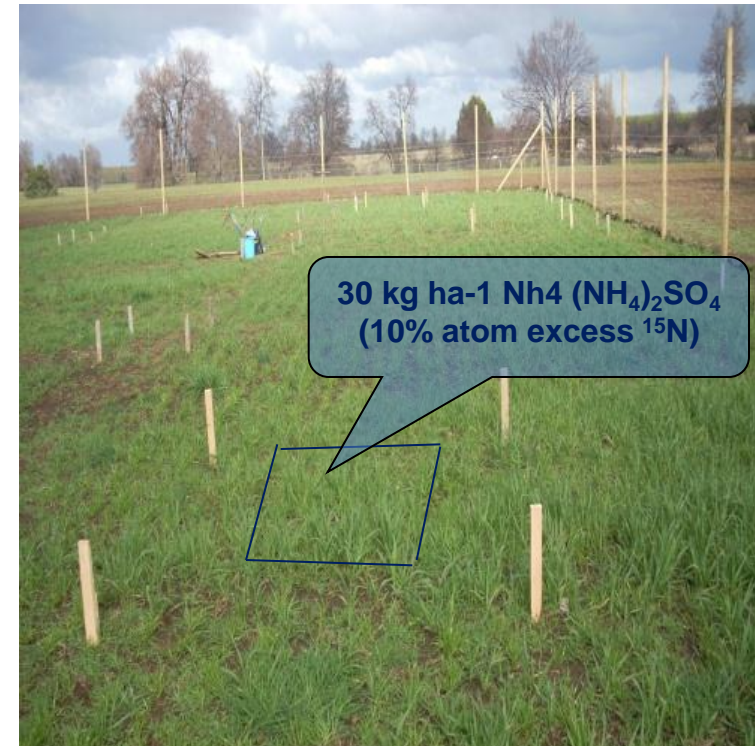


Determinación de la recuperación de N en el cereal en la rotación: (mediante el método de dilución isotópica con ^{15}N)

$$\% \text{ Nddl} = 1 - \frac{(\% \text{ }^{15}\text{N at. Exc. trigo post leguminosa})}{(\% \text{ }^{15}\text{N at. Exc. trigo post gramínea})} * 100$$

Donde %Nddl es el % de N derivado de la leguminosa recuperado en el trigo.

$\% \text{ Nddl} * \text{N total en trigo} = \text{kg N ha}^{-1}$ en trigo aportado por la leguminosa.





Nitrógeno total en trigo y N aportado por la leguminosa al trigo estimados por el método de dilución isotópica y por diferencia, en el secano interior

	N total trigo	Dilución isotópica (kg N total ha ⁻¹)	Diferencia
Leg. de grano			
Monocultivo cereal sin N	30		
<i>L. angustifolius</i>	44	2,57 (5,9%)	13,82
<i>L. luteus</i>	41	2,86 (6,9%)	11,70
<i>P. sativum</i>	41	2,53 (6,2%)	10,93
<i>Avena-vicia</i>	38	2,82(7,5%)	8,00
Leg. anual			
L1	36	2,70 (7,5%)	6,34
L2	37	2,82 (7,5%)	7,74



Nitrógeno total en trigo y N aportado por la leguminosa al trigo estimados por el método de dilución isotópica y por diferencia, en precordillera andina

	N total trigo	Dilución isotópica (kg N total ha ⁻¹)	Diferencia
Leg. de grano			
Monocultivo cereal sin N	101		
<i>L. angustifolius</i>	96	-6,10	-5,10
<i>L. albus</i>	131	-7,70	30,20
<i>P. sativum</i>	114	1,40	13,30
<i>Avena-vicia</i>	173	-3,00	72,60
Leg. anual			
L1	135	3,40	34,37
L2	98	4,33	-2,11



Cómo se explican estas diferencias en las estimaciones sobre el aporte de las leguminosas

- La biomasa de raíces, que puede representar hasta un 30% de la biomasa con contenidos de N mayor que la parte aérea (30-60%)
- Se corta ciclo de enfermedades del trigo (mal del pie).
- Control de malezas.
- Mejoramiento de propiedades físicas del suelo, que redundarían en un mejor desarrollo radicular y aéreo de las plantas lo que a su vez permitiría una mayor extracción de N proveniente de la mineralización del suelo.
- Cambios en la disponibilidad de otros nutrientes (particularmente P)
- Cambios en la biología del suelo.

Participantes

Universidad de Talca

- Dr. Alejandro del Pozo

Universidad de Concepción

- Dr. Erick Zagal
- Soledad Espinoza (doctorante)

CSIRO Australia

- Dr. Mark Peoples

INIA

- Dr. Carlos Ovalle
- Dr. Iván Matus
- Sr. José Cares (Técnico)



Gracias



Análisis posterior

Balance de N en la rotación:

Para las leguminosas de grano:

$$\mathbf{N\ balance = N_2\ fijado - (N\ cosechado}_{(semillas)} + N\ perdido}_{(lixiviación)})$$

Para las leguminosas anuales forrajeras:

$$\mathbf{N\ balance = N_2\ fijado - (N\ removido}_{(animales)} + N\ perdido}_{(volatilización\ y\ lixiviación)})$$

$$\mathbf{N\ rotación = N\ balance - N\ grano\ del\ cereal}$$

	Ndfa (kg N ha ⁻¹)	NL semilla (kg N ha ⁻¹)	N lixiviado (N-NO ₃ kg ha ⁻¹)	N balance (kg N ha ⁻¹)	NC semilla (kg N ha ⁻¹)	N rotación (kg N ha ⁻¹)
2008-2009						
Yungay						
<i>L. angustifolius</i>	47 d	51 c	26 c	-30	80 c	-110
<i>L. albus</i>	79 c	127 a	31 a	-79	110 b	-189
<i>P. sativum</i>	202 a	107 b	29 b	66	95 bc	-29
<i>Avena-vicia</i>	106 b		26 c	80	142 a	-62
Cauquenes						
<i>L. angustifolius</i>	134 b	86 a	3 c	45	38 a	7
<i>L. luteus</i>	104 c	94 a	5 b	5	35 a	-30
<i>P. sativum</i>	258 a	60 b	1 d	197	35 a	162
<i>Avena-vicia</i>	46 d		6 a	40	31 a	9
2009-2010						
Yungay						
<i>L. angustifolius</i>	110 c	220 b	23 c	-133	79 c	-212
<i>L. albus</i>	233 a	295 a	28 a	-90	106 b	-196
<i>P. sativum</i>	159 b	147 c	21 d	-9	92 bc	-101
<i>Avena-vicia</i>	65 d		26 b	39	135 a	-96
Cauquenes						
<i>L. angustifolius</i>	121 c	120 a	3 c	-2	43 a	-45
<i>L. luteus</i>	152 b	122 a	5 b	25	38 a	-13
<i>P. Sativum</i>	178 a	77 b	1 d	100	43 a	57
<i>Avena-vicia</i>	41 d		5 a	36	27 b	9



Rendimiento y contenido de N en granos de trigo en secano interior

Crop sequence	Grain yield (kg ha ⁻¹)		Grain N (kg N ha ⁻¹)	
	2009	2010	2009	2010
Narrow leaf lupin- Wheat	2663 b*	3000 ab	38 b	56 a
Yellow lupin- Wheat	2483 b	2658 b	35 bc	52 ab
Peas - Wheat	2398 b	2890 ab	35 bc	54 a
Vetch+oat - Wheat	1950 c	1660 c	31 c	27 c
Oat (- N)– Wheat (-N)	1534 d	1125 d	25 d	19 d
Oat (+ N) – Wheat (+N)	3328 a	2730 ab	56 a	46 b



Beneficios de la rotación en rendimiento y N en granos de trigo en secano interior

Crop sequence	Yield benefit (kg ha ⁻¹) ^A		N benefit (kg N ha ⁻¹) ^B	
	2009	2010	2009	2010
Narrow leaf lupin- Wheat	1129 (79)	1875 (110)	13	37
Yellow lupin- Wheat	1533 (75)	1533 (97)	10	33
Peas - Wheat	1356 (72)	1765 (106)	10	35
Vetch+oat - Wheat	416 (59)	535 (61)	6	8
Oat (- N)– Wheat (-N)	(46)	(41)		
Oat (+ N) – Wheat (+N)	(100)	(100)		

^A Calculated as: (wheat yield after legume)-(wheat yield after oat (-N))

^B Calculated as: (wheat N after legume)-(wheat N after oat (-N))



Rendimiento y contenido de N en granos de trigo en precordillera Andina

Crop sequence	Grain yield (kg ha ⁻¹)		Grain N (kg N ha ⁻¹)	
	2009	2010	2009	2010
Narrow leaf lupin- Wheat	5500 c	5443 c	80 c	105 b
White lupin– Wheat	5535 c	5350 c	110 b	112 b
Peas – Wheat	6410 b	6208 b	95 bc	129 ab
Vetch+oat – Wheat	8113 a	7675 a	142 a	152 a
Oat (- N)– Wheat (-N)	4763 d	3458 d	84 c	70 c
Oat (+ N) – Wheat (+N)	8003 a	7498 a	159 a	156 a



Beneficios de la rotación en rendimiento y N en granos de trigo en precordillera Andina

Crop sequence	Yield benefit (kg ha ⁻¹) ^A		N benefit (kg N ha ⁻¹) ^B	
	2009	2010	2009	2010
Narrow leaf lupin- Wheat	737 (69)	1985 (73)	-4	35
White lupin– Wheat	772 (69)	1892 (72)	26	42
Peas – Wheat	1647 (81)	2750 (83)	11	59
Vetch+oat – Wheat	3350 (101)	4217 (103)	58	82
Oat (- N)– Wheat (-N)	(60)	(46)		
Oat (+ N) – Wheat (+N)	(100)	(100)		