



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

Secretaría de Ciencia, Técnica y Posgrado



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

Facultad de Ciencias Agrarias

TESIS DE MAESTRÍA

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE UN CULTIVO DE AVENA (*Avena sativa* L.), BAJO DISTINTAS LÁMINAS DE RIEGO EN EL NOR-OESTE DE CHUBUT (Argentina)

CARRERA DE POSGRADO EN RIEGO Y DRENAJE

Tesista: Ing. Agr: CRISTINA DELLACANÓNICA

Directora: Ing. Agr. MSc. Adriana I. Bermejillo

Codirector: Ing. Agr. MSc. José Morabito

Mendoza, Octubre 2014

Agradecimientos

a mis amores, Alejandro y mi pequeña Catalina, por su acompañamiento, apoyo y paciencia,

a mi directora de tesis, Adriana Bermejillo, a mi co-director Pepe Morabito

a Walter Opazo, Camila Cotut, Guillermo Lexow, Segundo Bobadilla, Ivana Amico, Axel Von Müller, Demian Ceballos, Miguel Raso, Martin Villa, Esteban Guitart Fité, Teddy Lloyd, Eduardo Miserendino, Georgina Ciari, Nicolás Nagahama, Cecilia Caruso, Jorge Luis Luque, Joaquín Llera, y al INTA en su programa de capacitación de becarios por el financiamiento, sin el cual no hubiese sido posible la realización del posgrado.

RESUMEN

En un cultivo de avena se evaluó el impacto de diferentes láminas de riego sobre la productividad (materia seca y grano) y calidad de forraje, aplicadas a partir del estado fenológico de espigazón. También se determinó la eficiencia del uso del agua (EUA) y la eficiencia de uso del agua de riego (E_i) del cultivo. En el análisis se consideraron los aspectos de condición física y de fertilidad de suelo, el balance hídrico del suelo y del cultivo, la fenología y los coeficientes que caracterizan el desempeño del equipo de riego. Las láminas de riego se aplicaron con un equipo enrollador de tipo cañón. El ensayo se diagramó en un diseño de bloques completamente al azar de tres bloques y tres tratamientos de riego (T_{60} , T_{88} y T_{103}). El análisis estadístico se realizó a través del análisis de la varianza (ANOVA) de cada una de las variables muestreadas. Los resultados estadísticos permitieron demostrar la relación positiva entre cantidad de agua aplicada y cantidad de forraje producido. Los tratamientos ensayados no evidenciaron el efecto del riego sobre el rendimiento en grano, como tampoco la relación inversa entre producción de biomasa y contenido de PB. El balance hídrico del cultivo y del suelo evidenció la situación del cultivo creciendo en condiciones de estrés. Se observó la relación positiva entre la lámina de riego aplicada y EUA de forraje destacando que el cultivo no presentó limitaciones de nitrógeno ni fósforo. En el caso de la E_i el cultivo crecido bajo el tratamiento de lámina baja fue más eficiente en convertir la disponibilidad de agua de riego en biomasa.

Palabras clave: riego por aspersión - producción de forraje y grano - calidad de forrajes - humedad de suelo - eficiencia del uso del agua - eficiencia de uso del agua de riego

Tabla de contenido

LISTADO DE TABLAS.....	ix
LISTADO DE FIGURAS.....	x
LISTADO DE ECUACIONES.....	xi
LISTADO DE ABREVIATURAS.....	xii
INTRODUCCIÓN	24
1. GENERALIDADES DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.....	24
1.1 Características ambientales del noroeste de Chubut	24
1.2. Desarrollo agrícola – ganadero de la región y su vinculación con el cultivo de avena.....	25
1.3. Desarrollo del riego en la región y antecedentes productivos.....	27
2. EL CULTIVO DE AVENA	28
2.1. Ciclo fenológico	29
2.2. Requerimientos nutricionales y edáficos	30
2.3. Demanda hídrica del cultivo de avena	31
2.4. Calidad del cultivo de avena y factores que la afectan	32
2.5. Antecedentes de rendimientos y calidad del cultivo de avena a nivel local	33
3. RIEGO	34
3.1. Antecedentes del efecto de riego en los cultivos en general. Efectos del riego sobre rendimientos y calidad	34
3.1.1. Efecto del riego sobre la calidad	34
3.1.1.1. Riego + fertilización N.....	34
3.2. Riego deficitario: por qué regar en ciertas etapas	35
3.3. Eficiencia del uso del agua.....	36
3.4. Calidad de agua de riego.....	37

4. PLANTEO DEL PROBLEMA	38
5. OBJETIVOS GENERALES	39
6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
7. HIPÓTESIS	39
MATERIALES Y MÉTODOS	40
1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	40
2. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE RIEGO	43
2.1. Relevamiento de datos edáficos	45
2.1.1. Porosidad total (PT)	47
2.1.2. Tasa de infiltración del suelo	47
2.2. Cálculo de la demanda de nutrientes del cultivo	48
2.2.1. Porcentaje de Nitrógeno asimilable (NA)	49
2.2.2. Fósforo (P)	49
2.2.3. Potasio (K)	50
2.3. Descripción de la siembra, fecha de siembra, y cultivo	50
2.4. Humedad de suelo al momento de la siembra	51
2.5. Implantación del cultivo. cantidad de plantas logradas m^{-2}	51
2.6. Cálculo y registro de la fenología del cultivo	51
2.7. Cálculo de los requerimientos hídricos del cultivo	52
2.8. Determinación de la calidad de agua de riego	54
2.9 Evaluación del riego: CUC, CUD, Ed y $Ea_{1/4}$	54
2.10. Balance hídrico del suelo	56
2.11. Forraje	59
2.11.1. Determinación del rendimiento de materia seca	59
2.11.2. Determinación de la calidad de forraje	60
2.12. Grano	61
2.12.1 Determinación del rendimiento de grano	61
2.12.2. Peso de 1000 semillas	62
2.12.3. Número de granos	62

2.13. Cálculo de la eficiencia del uso del agua (EUA)	63
2.14. Cálculo de la eficiencia de uso del agua de riego (E_I)	65
3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	65
RESULTADOS.....	68
1. DATOS EDÁFICOS.....	68
2. CANTIDAD DE PLANTAS POR m^2	69
3. FENOLOGÍA DEL CULTIVO	70
4. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL CULTIVO	70
5. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO.....	76
6. EVALUACIÓN DEL RIEGO: CUC, CUD, Ed y $E_{a1/4}$	77
7. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO.....	78
8. FORRAJE	79
8.1. Rendimiento de forraje ($kg\ MS\ ha^{-1}$)	79
8.2. Calidad de forraje.....	81
9. GRANO	83
9.1. Rendimiento de grano	83
9.2. Peso de 1000 semillas	84
9.3. Número de granos	84
10. EUA	86
11. E_I	87
DISCUSIÓN	88
1. IMPLANTACIÓN DEL CULTIVO ($plantas\ m^2$)	88
2. FENOLOGÍA DEL CULTIVO	88

3. DEMANDA HÍDRICA DEL CULTIVO	89
4. CUC , CUD, Ed y $E_{a1/4}$	90
5. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO.....	91
6. FORRAJE	92
6.1. Rendimiento:	92
6.2. Calidad:	94
7. RENDIMIENTO DE GRANO	95
8. EUA	96
9. E_1	98
CONCLUSIONES	99
COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES.....	101
ANEXO.....	103
1. CICLO FENOLÓGICO DEL CULTIVO DE AVENA.....	103
2. DURACIÓN DE LAS DISTINTAS ETAPAS FENOLÓGICAS EN EL CULTIVO DE AVENA.....	108
3. RESULTADOS DEL RELEVAMIENTO DE DATOS EDÁFICOS	111
3.1 Interpretación y discusión de los resultados del análisis de suelos.....	112
3.1.1 Materia Orgánica (MO)	112
3.1.2. Relación C/N.....	113
3.1.3. pH (1:1).....	113
3.1.4. Conductividad eléctrica (CE) ($\mu\text{S cm}^{-1}$) (1:5).....	114
3.1.5. CIC ($\text{me } 100 \text{ g}^{-1}$).	114
3.1.6. PSI (porcentaje de sodio intercambiable)	114
3.1.7. Densidad aparente (da).....	115
3.1.8. Capacidad de campo (cc), punto de marchitez permanente (PMP), disponibilidad de agua en el perfil (DT_{0-60}) y nivel de humedad del suelo al momento de la siembra del cultivo.	115
3.1.9. Textura	116

4. DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES DE SUELO PARA EL CULTIVO DE AVENA.....	117
4.1. Nitrógeno asimilable (NA).....	117
4.2. Fósforo (P)	118
4.3. Potasio (K ⁺).....	118
5. ENSAYOS DE INFILTRACIÓN.....	120
6. TABLAS DE CÁLCULO DE LA ET _{caj} PARA CADA TRATAMIENTO DE RIEGO.	123
7. TABLAS DE REFERENCIA PARA LOS ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL RIEGO CUC, CUD Y ED PARA EQUIPOS DE RIEGO POR ASPERSIÓN.	133
8. ANÁLISIS DE AGUA.....	134
9. PRUEBAS DE DISTRIBUCIÓN NORMAL Y HOMOCEDASTICIDAD DE LA VARIANZA	135
9.1. Calidad de forraje.....	135
9.2. Rendimiento de grano (kg grano ha ⁻¹), peso de 1000 semillas y número de granos ha ⁻¹	136
GLOSARIO	137
BIBLIOGRAFÍA	140

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Densidad de plantas por m ² dentro de las parcelas de cada bloque	69
Tabla 2. Registro fenológico a campo del cultivo de avena	70
Tabla 3. Estado fenológico registrado a campo y asignación del kc.....	71
Tabla 4. Estimación semanal de la ET _o , ET _c , y Nn del cultivo de avena a lo largo de la temporada de crecimiento.	72
Tabla 5. Resultado del análisis de agua	76
Tabla 6. CUC, CUD, Ed y Ea ₄	77
Tabla 7. Valores de F y p del ANOVA para las variables de calidad.....	82
Tabla 8. Efecto del tratamiento de riego sobre las variables de calidad de forraje	82
Tabla 9. Valores de EUA de avena para Esquel –Chubut.....	86
Tabla 10. Valores de E _l de avena para Esquel –Chubut	87
Tabla 11. Períodos críticos para el cultivo de trigo y cebada.....	107
Tabla 12. Tiempo térmico (TT, °C d) y temperatura base de referencia (T _b , ° C).....	109
Tabla 13. Fechas estimadas de las etapas fenológicas	110
Tabla 14. Resumen de los valores medios de suelo muestreados por estrato y bloque	111
Tabla 15. Contenido de K en el suelo expresados en me 100 g ⁻¹ y en ppm.....	112
Tabla 16. Disponibilidad de agua total (DT ₀₋₆₀) en el perfil de suelo analizado	115
Tabla 17. Comparación de la humedad de suelo al momento de la siembra	116
Tabla 18. Contenidos de nitrógeno asimilable (NA) expresados en kg ha ⁻¹	117
Tabla 19. Resumen del cálculo de la disponibilidad de K (kg ha ⁻¹).....	118
Tabla 20. Datos de los ensayos de infiltración.....	120
Tabla 21. Cálculos de ET _{caj} y balance hídrico del suelo para T ₁₀₃	123
Tabla 22. Cálculos de ET _{caj} y balance hídrico del suelo para T ₈₈	126
Tabla 23. Cálculos de ET _{caj} y balance hídrico del suelo para T ₆₀	129
Tabla 24. Eficiencia de distribución del agua (ED) en función del CUC y del área correctamente regada.	133
Tabla 25. Interpretación de los resultados del análisis del agua	134
Tabla 26. Valores p de la prueba de distribución normal del error (Shapiro – Wilks modificado) y de la prueba de homocedasticidad de la varianza de las variables de calidad de forraje	135
Tabla 27. Valores p de la prueba de distribución normal del error (Shapiro – Wilks modificado) y de la prueba de homocedasticidad de la varianza de rendimiento de grano (kg grano ha ⁻¹) y los componentes del rendimiento (peso de 1000 semillas y número de granos ha ⁻¹).....	136

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Cambios en la morfología externa de un cereal.....	30
Figura 2. Ubicación geográfica del sitio de estudio.....	40
Figura 3. Distribución anual de las temperaturas (°C) y precipitaciones (mm) medias mensuales.....	41
Figura 4. Temperatura media mensual (°C) y precipitaciones mensuales (mm) del año 2011	42
Figura 5. Croquis y localización de las parcelas de ensayo.....	45
Figura 6. Valores de kc del cultivo de avena adaptado para Esquel – Chubut.....	71
Figura 7. Necesidades netas (Nn) acumuladas de avena para Esquel, Chubut.....	73
Figura 8. ET_c , Pp, Pp_e , fenología y riego.....	74
Figura 9. Evapotranspiración máxima del cultivo suplida por Pp_e , riego y la reserva de agua en el suelo.....	75
Figura 10. ET_{caj} suplida por Pp_e , riego y la reserva de agua en el suelo.....	76
Figura 11. CUC y CUD en función del viento.....	78
Figura 12. Balance hídrico simulado por tratamiento para los 60 cm de suelo considerados en el estudio.....	79
Figura 13. Producción de forraje (kg MS ha ⁻¹) por tratamiento de riego.....	80
Figura 14. Producción de MS ha ⁻¹ en función de la ET_{caj}	81
Figura 15. Rendimiento en grano (kg grano ha ⁻¹) según el tratamiento de riego recibido.....	83
Figura 16. Peso de 1000 semillas (g) según el tratamiento de riego recibido.....	84
Figura 17. N° de granos ha ⁻¹ según el tratamiento de riego recibido.....	85
Figura 18. Producción de grano en función de la ET_{caj}	86
Figura 19. Lámina acumulada en función del tiempo acumulado.....	121

LISTADO DE ECUACIONES

ecuación 1. % M.O.....	46
ecuación 2. % C	46
ecuación 3. DT_{0-60}	46
ecuación 4. dt_{0-20}	46
ecuación 5. dt_{20-40}	47
ecuación 6. dt_{40-60}	47
ecuación 7. Porosidad total (PT) (%)	47
ecuación 8. I_{cum}	48
ecuación 9. I_b	48
ecuación 10. Nitrógeno asimilable (NA)	49
ecuación 11. PCA.....	49
ecuación 12. Necesidades netas (Nn).....	53
ecuación 13. Pp_e	53
ecuación 14. Agua consumida de la reserva del suelo	53
ecuación 15. $Ea_{1/4}$	55
ecuación 16. E_d	55
ecuación 17. CUC	55
ecuación 18. CUD.....	55
ecuación 19. Q ($L s^{-1}$).....	56
ecuación 20. Contenido de humedad (% g/g)	57
ecuación 21. W_r	57
ecuación 22. W_{rT}	58
ecuación 23. W_{r0-20}	58
ecuación 24. W_{r20-40}	58
ecuación 25. W_{r40-60}	58
ecuación 26. ET_{caj}	58
ecuación 27. k_s	58
ecuación 28. ELN.....	60
ecuación 29. EM	61
ecuación 30. DIVMS	61
ecuación 31. EUA	63
ecuación 32. E_{Tr}	63
ecuación 33. D_p	64
ecuación 34. E_l	65
ecuación 35. TT ($^{\circ}C d$).....	108

LISTADO DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado	Abreviatura	Significado
% g/g	% de humedad gramo en gramo	da	densidad aparente
$\mu\text{S cm}^{-1}$	microSiems por centímetro	DBCA	diseño en bloques completamente al azar
AER	Agencia de Extensión Rural (INTA)	DIVMS	digestibilidad in vitro de la materia seca
AFA	agua fácilmente disponible	Dp	percolación profunda
ANOVA	Análisis de la varianza	dr	densidad real
Bs. As.	Buenos Aires	DT	capacidad de almacenamiento de agua útil en el perfil
C	carbono	dt	disponibilidad de agua útil en el estrato
Ca^{2+}	calcio	$E_{a_{1/4}}$	eficiencia de aplicación en el 1/4 más desfavorecido
cc	capacidad de campo	Ed	eficiencia de descarga
CE	conductividad eléctrica	ED	eficiencia de distribución del agua
CIC	capacidad de intercambio catiónico	E_I	eficiencia de uso del agua de riego
CIEFAP	Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico	ELN	extracto libre de nitrógeno
cm	centímetro	EM	energía metabolizable
cmol	centimol	ET	evapotranspiración
CUC	Coeficiente de Uniformidad de Christiansen	ET_c	evapotranspiración del cultivo
CUD	Coeficiente de Uniformidad de Distribución	ET_{caj}	evapotranspiración del cultivo ajustada
D	agotamiento de humedad o déficit hídrico en la zona de raíces	ET_o	evapotranspiración de referencia
d	día	ETr	evapotranspiración real

LISTADO DE ABREVIATURAS (cont.)

Abreviatura	Significado	Abreviatura	Significado
EUA	eficiencia del uso del agua	L s ⁻¹	litros por segundo
Fac. Cs. Agrarias	Facultad de Ciencias Agrarias	m	metro
FDA	fibra en detergente ácido	m ²	metro cuadrado
FDN	fibra en detergente neutro	m ³	metro cúbico
g	gramo	m ³ h ⁻¹	metros cúbicos por hora
h	hora	MAGyP	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca
ha	hectárea	MC	madurez de cosecha
Ib	infiltración básica	Mcal	megacalorías
Icum	infiltración acumulada	me	miliequivalente
INDEC	Intituto Nacional de Estadísticas y Censos	me L ⁻¹	miliequivalente por litro
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria	MF	madurez fisiológica
K ⁺	potasio	mg	miligramo
kc	coeficiente del cultivo	Mg ²⁺	magnesio
kg	kilogramo	min	minutos
kg MS ha ⁻¹	kilogramo de materia seca por hectárea	mm	milímetro
km	kilómetro	mm d ⁻¹	milímetros por día
ks	coeficiente de estrés del cultivo	MO	materia orgánica
L	litro	MS	materia seca

LISTADO DE ABREVIATURAS (cont.)

Abreviatura	Significado	Abreviatura	Significado
N	nitrógeno	PT	porosidad total
NA	nitrógeno asimilable	Q	caudal
Na ⁺	sodio	RAS	relación de adsorción de sodio
Nn	necesidades netas del cultivo	RD	riego deficitario
NO	noroeste	Rf	escurrimiento superficial (Run off)
Nt	nitrógeno total	S	azufre
°C	grado centígrado	s	segundos
°C d	grado centígrado día	SCS	Soil Conservation Service (USDA)
P	fósforo	SE	sureste
PB	proteína bruta	SIIA	Sistema Integrado de Información Agropecuaria
PCA	peso de la capa arable	t	tonelada
pl m ⁻²	plantas por metro cuadrado	t ha ⁻¹	toneladas por hectárea
PMP	punto de marchites permanente	Tb	temperatura base
Pp	precipitaciones	Tm	temperature media
Pp _e	precipitación efectiva	TT	tiempo térmico
ppm	parte por millón	UCAR	Unidad para el Cambio Rural
PROSAP	Programa de Servicios Agrícolas Provinciales	UNPSJB	Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco
Prov.	Provincia	V/V	volumen en volumen

LISTADO DE ABREVIATURAS (cont.)

Abreviatura	Significado
var	variedad
W _a	humedad de suelo actual
W _r	lámina remanente
W _{rT}	lámina remanente en el total del perfil
ΔSW	variación en el contenido de humedad del suelo

“Yield and quality in oats (*Avena sativa L.*) under different watering strategies in the northwest region of Chubut (Argentina)”

ABSTRACT

The effect of different amounts of water applied to an oat crop starting at heading was evaluated on yield (dry matter and grain) and forage quality. Water use efficiency (EUA) and irrigation water use efficiency (E_I) were determined for the same crop too. The approach took into consideration soil physical and fertility conditions, crop and soil water balance and the irrigation performance coefficients. Irrigation treatments were applied by a traveling gun type sprinkler. Test was developed in a completely randomized blocks diagram of three blocks and three irrigation treatments (T_{60} , T_{88} and T_{103}). Collected data was analyzed by an analysis of variance (ANOVA). Statistical results demonstrate the positive relationship between water supply and dry matter production. Nevertheless there was no evidence of irrigation treatments neither in grain yield nor in the negative relationship between biomass and PB. Crop and soil water balance revealed a crop growing up under stress conditions. There was a positive effect between EUA and irrigation treatments underlying there were no nitrogen (N) or phosphorus (P) soil conditions restricting the crop growth. Crop developing under the low water depth treatment conditions revealed the higher E_I , meaning that in such conditions crop was more efficient in converting irrigation water into biomass.

Keywords: gun sprinkler irrigation - forage and grain yield – forage quality – available soil water content – water use efficiency – irrigation water use efficiency.

Content

LIST OF TABLES.....	xxii
LIST OF FIGURES.....	xxiii
INTRODUCTION	24
1. AGRICULTURAL PRODUCTION: OVERVIEW	24
1.1 Chubut´s northwestern environmental characteristics	24
1.2. Agriculture, livestock and oat crops.....	25
1.3. Regional irrigation overview.....	27
2. OAT	28
2.1. Oat´s phenology	29
2.2. Soil and nutrition requirements.....	30
2.3. Water requirement.....	31
2.4. Quality and affecting factors.....	32
2.5. Local oat yields and quality background	33
3. IRRIGATION	34
3.1. General irrigation effect in crops. Effect of irrigation on yield and quality	34
3.1.1. Irrigation effect on quality	34
3.1.1.1. Irrigation + N fertilization.....	34
3.2. Deficit irrigation: irrigating in certain crop stages.....	35
3.3. Water use efficiency	36
3.4. Irrigation water quality.....	37
4. ESTABLISHING THE PROBLEM	38
5. GENERAL OBJECTIVES	39
6. SPECIFIC OBJECTIVES	39
7. HYPOTHESIS	39

MATERIALS Y METHODS.....	40
1. STUDY AREA	40
2. THE IRRIGATION TEST	43
2.1. Soil survey.....	45
2.1.1. Total porosity (PT).....	47
2.1.2. Soil infiltration rate	47
2.2. Available soil nutrients for the crop	48
2.2.1. Assimilable Nitrogen porcentaje (NA).....	49
2.2.2. Phosphorus (P)	49
2.2.3. Potassium (K).....	50
2.3. Sowing description, sowing date and crop.....	50
2.4. Soil moisture at sowing.....	51
2.5. Crop establishment: plants per m ⁻²	51
2.6. Estimated dates vs in field crop phenology registration	51
2.7. Estimated crop water requirements.....	52
2.8. Irrigation water suitability.....	54
2.9 Irrigation tests: CUC, CUD, Ed y Ea _¼	54
2.10. Soil water balance	56
2.11. Forrage	59
2.11.1. Dry matter yield	59
2.11.2. Forrage quality	60
2.12. Grain.....	61
2.12.1 Grain yield	61
2.12.2. 1000 kernel weight.....	62
2.12.3. Grain number	62
2.13. Estimated water use efficiency (EUA).....	63
2.14. Estimated irrigation water use efficiency (E _I).....	65
3. STATISTICAL ANALYSIS.....	65

RESULTS	68
1. SOIL DATA.....	68
2. PLANTS PER m ²	69
3. CROP PHENOLOGY	70
4. CROP WATER REQUIREMENTS	70
5. SUITABILITY OF IRRIGATION WATER.....	76
6. IRRIGATION TEST: CUC, CUD, Ed y Ea _{1/4}	77
7. SOIL WATER BALANCE	78
8. FORRAGE	79
8.1. Forrage yield (kg MS ha ⁻¹).....	79
8.2. Forrage quality	81
9. GRAIN	83
9.1. Grain yield.....	83
9.2. 1000 kernel weight.....	84
9.3. Grain number	84
10. EUA	86
11. E ₁	87
DISCUSSION	88
1. CROP ESTABLISHMENT (plants m ⁻²).....	88
2. CROP PHENOLOGY	88
3. CROP WATER REQUIREMENTS	89
4. CUC , CUD, Ed y Ea _{1/4}	90
5. SOIL WATER BALANCE	91

6. FORRAGE	92
6.1. Yield:.....	92
6.2. Quality:.....	94
7. GRAIN YIELD	95
8. EUA	96
9. E_I	98
CONCLUSIONS.....	99
FINAL COMMENTS AND RECOMMENDATIONS	101
ANEXX.....	103
1. OAT CROP PHENOLOGYCAL STAGES	103
2. TERMS OF OAT CROP PHENOLOGYCAL STAGES	108
3. SOIL ANALYSIS RESULTS.....	111
3.1 Interpretation and discussion of the soil analysis.....	112
3.1.1 Organic matter (MO)	112
3.1.2. C/N relation.....	113
3.1.3. pH (1:1).....	113
3.1.4. Electric conductivity (CE) ($\mu\text{S cm}^{-1}$) (1:5).....	114
3.1.5. CIC (me 100 g^{-1}).	114
3.1.6. PSI (interchangeable sodium percentage).....	114
3.1.7. Bulk density (da).....	115
3.1.8. Field capacity (cc), permanent wilting point (PMP), profile available soil water (DT ₀₋₆₀) and soil humidity content at crop sowing	115
3.1.9. Texture	116
4. AVAILABLE SOIL NUTRIENTS CONTENT FOR THE CROP	117
4.1. Assimilable nitrogen (NA).....	117
4.2. Phosphorus (P)	118
4.3. Potassium (K^+)	118

5. INFILTRATION TESTS	120
6. ET_{caj} CALCULATION TABLES OF EACH IRRIGATION TREATMENT.	123
7. REFERENCE TABLE FOR SPRINKLER PERFORMANCE TESTS	133
8. IRRIGATION WATER ANALYSIS	134
9. NORMALITY AND VARIANCE HOMOCEASTICITY TESTS	135
9.1. Forrage quality	135
9.2. Grain Yield ($kg\ grain\ ha^{-1}$), 1000 kernel weight and grain number ha^{-1} ...	136
GLOSSARY	137
BIBLIOGRAPHY	140

LIST OF TABLES

Table 1. Plant density among plots of a same block.....	69
Table 2. In field oat phenological stages recordings.....	70
Table 3. kc coefficient assignment to the in field oat phenological stages recordings.	71
Table 4. Weekly ET_o , ET_c and net crop requirements during the oat growing season.	72
Table 5. Irrigation water quality analysis results	76
Table 6. CUC, CUD, Ed Ea $\frac{1}{4}$	77
Table 7. ANOVA's F and p values for forage quality tasks.	82
Table 8. Treatment effects in the dry matter forage quality.....	82
Table 9. Oat WUE values for Esquel - Chubut.....	86
Table 10. Oat E_1 values for Esquel - Chubut.....	87
Table 11. Wheat and barley critical grow stages periods.....	107
Table 12. Termal time and base reference temperature for spring oat varieties.	109
Table 13. Estimated pre-anthesis and filling dates according to the oat thermal time (TT). 110	110
Table 14. Block medium values per soil stratus of the analyzed parameters.....	111
Table 15. K soil content in me 100 g ⁻¹ and ppm	112
Table 16. Total available water content (DT_{0-60}) for plants in the considered soil profile... 115	115
Table 17. Soil humidity at sowing vs total soil available water content per soil stratus..... 116	116
Table 18. Useful nitrogen (NA) content in kg ha ⁻¹	117
Table 19. Summary of K stratus availability in kg ha ⁻¹	118
Table 20. Records of infield infiltration tests.	120
Table 21. ET_{caj} and soil water balance calculations for irrigation treatment T_{103}	123
Table 22. ET_{caj} and soil water balance calculations for irrigation treatment T_{88}	126
Table 23. ET_{caj} and soil water balance calculations for irrigation treatment T_{60}	129
Table 24. Water efficiency distribution (ED) according to CUC and adequate irrigated area.	133
Table 25. Irrigation water quality results interpretation.....	134
Table 26. Modified Shapiro – Wilks and variance homogeneity 's test p – values for forage quality tasks	135
Table 27. Modified Shapiro – Wilks and variance homogeneity s test p – values for grain yield (kg grano ha ⁻¹) and its components (1000 kernel weight and grain number per ha ⁻¹). 136	136

LIST OF FIGURES

Figure 1. Schematic depiction of cereal's external morphology changes).	30
Figure 2. Study site localization. Maps obtained by QGIS® software.	40
Figure 3. Year temperature (° C) and precipitation (mm) distribution.	41
Figure 4. 2011's annual mean precipitation and temperature data.	42
Figure 5. In field plots localization at Campo Experimental Trevelin – EEA INTA – Esquel.	45
Figure 6. Kc values for oat at Esquel – Chubut localization (by own elaboration)	71
Figure 7. Oat cumulative net water requirements for Esquel (Chubut) localization.	73
Figure 8. ET_c , Pp, Pp_e , oat phenology along the season and irrigation times.	74
Figure 9. Maximum evapotranspiration (%) supplied by effective rainfall, irrigation and soil water reservation for each of the irrigation treatments.	75
Figure 10. Real evapotranspiration (ET_{caj}) (%) in the entire crop season supplied by effective rainfall, irrigation and soil water reservation for each of the irrigation treatments.	76
Figure 11. CUC and CUD variability vs. wind speed.	78
Figure 12. 60 cm soil water content simulation for each treatment.	79
Figure 13. Dry matter yield ($kg\ MS\ ha^{-1}$) per treatment.	80
Figure 14. Dry matter production as a function of the adjusted crop evapotranspiration (ET_{caj})	81
Figure 15. Grain yield ($kg\ grain\ ha^{-1}$) according to irrigation treatment.	83
Figure 16. 1000 kernel weight (g) according to the irrigation treatment received.	84
Figure 17. Grain number ($n^\circ\ granos\ ha^{-1}$) according to irrigation treatment.	85
Figure 18. Grain yield ($kg\ ha^{-1}$) as a function of the adjusted crop evapotranspiration (ET_{caj})	86
Figure 19. Cumulative water depth vs accumulated time, as a result of infield infiltration tests.	121

INTRODUCCIÓN

1. GENERALIDADES DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

1.1 Características ambientales del noroeste de Chubut

La región noroeste (NO) de Chubut se caracteriza por la presencia de un gradiente oeste – este en el relieve, precipitaciones y suelos, generando ambientes boscosos de alta montaña al oeste, hasta estepas arbustivas típicas en el este. Precipitaciones de 3000 mm año⁻¹ en las altas cumbres del límite internacional con la República de Chile, a la estepa patagónica con 200 mm año⁻¹, en una distancia equivalente a 100 km, originan un gradiente aproximado de 50 mm año⁻¹ por kilómetro recorrido (Pereyra & Abadic 1966; Barros *et al.* 1979). De la misma forma, la topografía irregular y las diferencias de altitud y exposición han permitido la evolución de distintos tipos de suelos, desde profundos y desarrollados hasta suelos someros y poco estratificados (Colmet Dâage *et al.* 1995; Amico 2010). El material originario de estos suelos es de origen volcánico, que les imprime características distintivas en cuanto a su uso y valor agronómico – forestal (Dahlgren *et al.* 2004; Amico 2010).

El clima es templado frío con un régimen de precipitaciones de tipo mediterráneo, es decir seco en verano y húmedo en otoño – invierno. No hay período libre de heladas (Amico *et al.* 2001), constituyendo una de las principales limitaciones para el desarrollo de algunos cultivos agrícolas. El 70 % de las precipitaciones se concentran en otoño e invierno, y sólo el 12 % tienen lugar en los meses de verano (Jobbágy *et al.* 1995). Los vientos predominantes provienen de la dirección oeste. La mayor incidencia y ocurrencia de los vientos es durante la

primavera y el verano, aunque en función del relieve local, la intensidad y dirección puede ser diferente entre sitios cercanos (Amico 2010).

En las zonas montañosas dominan los bosques compuestos por especies asociadas del género *Nothofagus* y *Austrocedrus chilensis* (ciprés de la cordillera). La zona de valles, originalmente ocupada por la vegetación de estepa gramínea, concentra el desarrollo de las actividades agropecuarias. La producción de forraje y granos, la cría y engorde de bovinos y ovinos y la producción de lana son las actividades agropecuarias de mayor preponderancia. De acuerdo a las estadísticas del Censo Nacional Agropecuario (INDEC 2002), entre los departamentos de Futaleufú y Cushamen (ambos situados al noroeste) concentran el 44 % del ganado bovino y el 8 % del ganado ovino de la provincia (Dirección General de Estadísticas y Censos Chubut, 2002).

La producción de forrajes y granos (avena, cebada, pasturas polifíticas y alfalfa) está dirigida a la alimentación del ganado. También se desarrollan otras actividades agropecuarias intensivas como la horticultura, fruticultura, cría de cerdos, aves y apicultura (Méndez Casariego 2008; Amico 2010).

1.2. Desarrollo agrícola – ganadero de la región y su vinculación con el cultivo de avena

La actividad ganadera es una de las principales actividades agropecuarias en la región NO de Chubut (Guitart Fité 2008; Bobadilla & Lexow 2012).

Debido a que la producción de forraje en esta región es sumamente estacionaria y abundante en primavera y verano, cobra gran importancia la confección de reservas para el resto del año, donde el crecimiento vegetativo se encuentra limitado principalmente por bajas temperaturas.

El cultivo de forrajes y cereales para corte, como la alfalfa, avena y cebada está orientado a la alimentación del ganado bovino y ovino. Normalmente en verano, el ganado pastorea en las “veranadas”, predios ubicados en la zona alta de los valles. Cuando el forraje natural comienza a declinar, y sobre todo en invierno, los productores complementan la dieta del ganado con fardos y grano (Amico 2010).

Estas reservas suelen ser confeccionadas dentro de los mismos establecimientos, para autoabastecimiento y para la comercialización de excedentes. En temporadas climáticamente desfavorables para la producción de pasto (temporadas secas) el productor se ve obligado a comprar este tipo de reservas forrajeras (fardos y grano) por fuera de la zona, recurriendo a importar este alimento tanto de la costa chubutense, como de otras provincias.

La avena (en esta provincia) se cultiva normalmente en condiciones de secano y el destino final suele ser la confección de reservas forrajeras y grano para la alimentación del ganado (Martinez *et al.* 2010; Amico 2010). Dentro de las estrategias de manejo agronómicas se utiliza la avena de cultivo antecesor, por ejemplo previo a la implantación de una pastura perenne, o al momento de comenzar a utilizar una pradera que permaneció sin cultivar por más de una temporada productiva, o al inicio de una rotación de cultivos por su propiedad de atenuar el efecto de algunas enfermedades en el suelo (Dumont & Lanuza 1990). También se la emplea para favorecer la implantación de otra especie forrajera, por ejemplo: alfalfa, donde la alfalfa es el cultivo principal y la avena, sembrada a una densidad menor, ejerce la función de cultivo acompañante (sobre todo en lotes muy expuestos al viento o enmalezados) (Bobadilla *et al.* 2008). En otros casos la utilizan para mejorar la estructura del suelo, incorporándola al mismo como abono verde.

La Provincia de Chubut representa el 0,21 % de las 143.564,7 ha implantadas con avena del país de acuerdo al Censo Nacional Agropecuario 2002 (INDEC, 2002). A su vez, dentro de la provincia la producción de este cultivo se concentra en tres departamentos: Cushamen (42%), Gaiman (36%) y Futaleufú (13%) (INDEC, 2002). Cushamen y Futaleufú son departamentos del NO de la provincia.

La restricción principal en el uso de este cultivo como reserva de forraje radica en la baja concentración de nutrientes en estados tardíos (proteína principalmente), que es cuando normalmente se la utiliza para la confección en fardos o rollos. Gaggiotti *et al.* (2008) registraron en avena una caída de la proteína bruta en 8 puntos y un aumento de la fibra en detergente neutro de 10 puntos aprox. de estado vegetativo a principios de floración. Sin embargo se considera el cultivo de avena una opción viable por su capacidad de acumular forraje en un período relativamente corto [siembras primaverales] a bajos costos (Dumont & Lanuza 1990; McCormick *et al.* 2006). La recomendación general es su utilización en la alimentación de

animales de bajos requerimientos (madres vacías y/o secas, reproductores fuera de la época de servicio, y en el rodeo ovino, también los capones) (Dumont & Lanuza 1990). En caso de tener que suministrarlo a categorías con altos requerimientos (madres lactando y gestando, animales en crecimiento o reproductores en época de servicio) Lauriault & Kirksey (2004) proponen el aprovechamiento del recurso entre vaina engrosada y espigazón, como estado fenológico límite, posterior al cual declina notablemente la calidad del recurso.

1.3. Desarrollo del riego en la región y antecedentes productivos

El Censo Nacional Agropecuario 2008 registró 2.200.000 ha bajo riego en la Argentina, aunque el trabajo no especifica la distribución por provincias (MAGyP-UCAR – PROSAP 2011). De acuerdo a las cifras oficiales, en el año 2002 (más detalladas) la Argentina contaba con 1.355.597 ha bajo riego, y la Provincia de Chubut concentraba el 1,34 % de la superficie total regada. Dentro de la Provincia, el departamento de Gaiman se destaca por tradición en la modalidad de sistemas de riego por escurrimiento superficial y en menor medida, riego localizado. Le siguen los departamentos del NO, Cushamen y Futaleufú, donde se dan los tres métodos de riego: gravitacional, aspersión y en menor medida riego localizado (Abraham & Gramicci 2007).

En el año 2007 el PROSAP construyó una serie de canales en las cercanías de la localidad de Trevelin (departamento Futaleufú) con la intención de fomentar la utilización del riego en la actividad agropecuaria. Las obras estarían dimensionadas para poner aproximadamente 2.000 ha del Valle 16 de Octubre bajo riego. Datos del año 2009 proporcionados por el Consorcio de Riego Molino Andes en un informe de avance del mismo programa revelaron que, hasta el momento, sólo un 10 % de las hectáreas proyectadas estaban haciendo uso de la estructura hidráulica construida (González 2009). Sin embargo, se espera que poco a poco los productores vayan incorporando la práctica del riego para la producción de pasturas y cereales anuales (avena y cebada).

Datos no publicados correspondientes a la zona de El Maitén, aseguran la obtención de un corte más por temporada para el cultivo de alfalfa en condiciones bajo riego (Bobadilla *et al.* 2008). Sin embargo, no existen datos concretos que registren la relación entre la cantidad de mm aplicados con la productividad.

Dentro de las especies forrajeras, el cultivo regado por excelencia es alfalfa. Los cultivos anuales (cebada, avena, triticale y eventualmente trigo) normalmente se producen en secano con rendimientos sujetos a la especie. Los rendimientos de avena en el Valle 16 de Octubre producidos en secano, oscilan alrededor de 5.500 a 7.000 kg de materia seca (MS) ha⁻¹ y 1.400 kg grano ha⁻¹ (Agencia de Extensión Rural (AER) Trevelin 2011)

2. EL CULTIVO DE AVENA

El cultivo de avena (*Avena sativa*, Linneo 1753) ocupa el tercer lugar en superficie implantada de cereales en nuestro país, después del trigo y el maíz (SIIA 2010-2011). Se trata de un cultivo adaptado a un amplio rango de altitudes, (Argote & Halanoca 2007; Martínez *et al.* 2010) y latitudes (Rojas 1987; González & Claro 2002; Contreras-Govea & Albrecht 2006; Peltonen – Sainio & Rajala 2007; Squella & Ormeño 2007; Gallego *et al.* 2011; Amigone *et al.* 2011; Peltonen – Sainio *et al.* 2012). Así pues en Argentina la avena se cultiva desde Tucumán hasta la provincia de Chubut. La provincia de Buenos Aires concentra el 61 % de la producción, seguida por La Pampa (23,7 %), Córdoba (6,72 %) y Santa Fe (2,72 %). La Provincia de Chubut representa el 0,21 % de la superficie implantada del país con este cultivo (INDEC, 2002).

Al igual que en otras partes del mundo la época de siembra para cereales y pasturas en la provincia de Chubut tiene lugar en primavera, a partir del momento en que las condiciones de suelo y temperatura permiten la entrada de maquinaria (Contreras-Govea & Albrecht 2006; Peltonen-Sainio & Rajala 2007).

La estación de crecimiento cuando sembrado en primavera suele ser más corta que en los tradicionales planteles de siembras de otoño, debido a que en el caso de

los cereales que se comportan como especies de día largo, la duración de las etapas vegetativas suele verse reducida en respuesta al alargamiento del fotoperíodo (Miralles *et al.* 2003). Estas condiciones son las que prevalecen hasta el 21 de diciembre, momento a partir del cual, cualquier factor de estrés, como por ejemplo la disponibilidad de agua, reduce la duración de las etapas siguientes y acelera la madurez del cultivo (Slafer *et al.* 2003).

2.1. Ciclo fenológico

La observación del desarrollo de un cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento permite diferenciar distintas etapas fenológicas y estados ontogénicos. La escala de Zadoks (1974) involucra procesos de desarrollo y de crecimiento de estados morfológicos externos en cereales. Otras escalas, como la de Gardner *et al.* (1985) describen cambios internos como por ejemplo la evolución del ápice principal.

Andersen (1952), Landes & Porter (1990), Peltonen – Sainio & Pekkala (1993) y Sonogo *et al.* (2000) establecieron escalas específicas para el cultivo de avena.

Sin embargo y sin caer en la utilización de ninguna escala en particular, es posible diferenciar, a simple vista, los cambios más relevantes de la morfología externa de un cultivo de cereal. Estos cambios son comunes a la mayoría de los cereales y permiten diferenciar las siguientes etapas (Figura 1):

- 1-siembra – emergencia,
- 2- pre – macollaje,
- 3 – macollaje,
- 4 – encañazón,
- 5 – espigazón,
- 6 – Floración o antesis,
- 7 – llenado de granos,
- 8 – madurez fisiológica (MF),
- 9 – madurez comercial (MC).

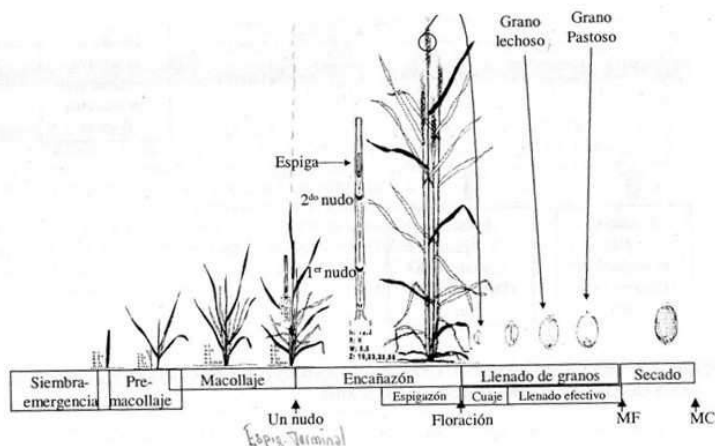


Figura 1. Cambios en la morfología externa de un cereal (adaptado de Slafer *et al.* 2003).

Figure 1. Schematic depiction of cereal's external morphology changes (adapted from Slafer *et al.* 2003).

Estas etapas no son estrictas y existe un cierto grado de superposición entre ellas.

La descripción particular de cada una de las etapas puede consultarse en el Anexo, de acuerdo con el material elaborado por Sonogo *et al.* (2000), Slafer *et al.* (2003), Abeledo *et al.* (2003), Peltonen – Sainio *et al.* (2007), Peltonen – Sainio & Rajala (2007) y Peltonen – Sainio (2009).

2.2. Requerimientos nutricionales y edáficos

Los requerimientos de nitrógeno (N) para un cultivo como la avena (usando al cultivo de trigo como referencia debido a la escasez de información puntual para este cultivo) varían de acuerdo a los distintos modelos de respuesta y zonas de producción consideradas. Sin embargo, la mayoría de los modelos recomiendan una disponibilidad de 100 – 150 kg N ha⁻¹ a la siembra en los primeros 60 cm de suelo (Álvarez 2007; Maddonni *et al.* 2003). En un trabajo de investigación específico del sureste (SE) de

la Provincia de Buenos Aires, Marino *et al.* (2004) reportan rendimientos máximos de forraje de avena con disponibilidades de 150 kg N ha⁻¹.

En el caso de fósforo (P), Álvarez (2007) reporta distintas respuestas a la fertilización en función de la disponibilidad inicial de este elemento en el suelo, determinados por el método de Bray & Kurtz, donde a partir de 15 ppm la respuesta a la fertilización fosfatada baja considerablemente. Vernet (1995) sugiere asegurar 12 ppm de P para el cultivo de trigo.

En concordancia con Álvarez (2007), Marino *et al.* (2004), Vernet (1995) y las recomendaciones de Doorenbos & Kassam (1979) se consideran 150 kg N ha⁻¹ en los primeros 60 cm de suelo, un mínimo de 12 ppm de P y entre 25 – 50 kg potasio (K⁺) ha⁻¹ como niveles de referencia de cada nutriente, adecuados para lograr buenos rendimientos en el cultivo de avena.

2.3. Demanda hídrica del cultivo de avena

Steduto *et al.* (2012) reportan valores de evapotranspiración máxima del cultivo (ET_c) entre 200 y 500 mm para altos rendimientos en función del clima y de la duración del ciclo de crecimiento del cultivo en trigo.

Por la similitud que existe entre el cultivo de trigo, avena y cebada, se considera una profundidad de raíces de 0,6 m (Li *et al.* 2005; Álvarez 2007; Albrizio *et al.*, 2010; Li *et al.* 2010). Palta (2010) en sus estudios para la zona triguera de la Pampa Húmeda reporta una concentración del 65 % de las raíces entre los 0,2 y 0,7 m de suelo al momento de encañazón del cultivo. El crecimiento de las raíces llega al máximo cuando la planta alcanza el estado de floración (Chambouleyron 1980). Doorenbos & Kassam (1979), Maldonado (2004) y Qureshi & Neibling (2009) coinciden en que entre el 65 y el 85 % de la absorción de agua se produce en los primeros 60 cm de suelo, donde concentran la mayor parte de raíces.

2.4. Calidad del cultivo de avena y factores que la afectan

La selección genética de las variedades de avena ha estado asociada a sus atributos de rendimiento de MS, resistencia a pestes o tolerancia a distintos tipos de estrés ambiental, más que a la calidad (Martínez *et al.* 2010).

La calidad del forraje se evalúa en función del contenido de nutrientes (proteínas, carbohidratos, minerales y vitaminas), digestibilidad (DIVMS) y energía metabolizable (EM) (Fulkerson *et al.* 2007).

El contenido de nutrientes y EM es variable entre temporadas productivas, estado ontogénico del cultivo, nivel de fertilidad del suelo o nivel de fertilización (en particular de N) y contenido de humedad del suelo, por su relación con la disponibilidad de nutrientes en la solución del suelo para la absorción por parte de las plantas (Marino *et al.* 2004; Picone, 2006; Fulkerson *et al.* 2007).

En la medida que avanza el ciclo del cultivo de avena, y al igual que en otras especies forrajeras, se produce un aumento significativo del contenido de lignina al mismo tiempo que se registra un descenso importante del nivel de proteína y digestibilidad del forraje. Los valores de fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA) aumentan en la medida que madura el cultivo mientras que los contenidos de proteína bruta disminuyen (Contreras – Govea & Albrecht 2006). Estas relaciones cobran importancia porque el contenido de FDN determina la ingesta potencial de forraje por parte de los animales (Laurinault & Kirksey 2004). El contenido de fibra regula la tasa de consumo, promueve la rumia (salivación y pH ruminal) y los movimientos del rumen (Pordomingo 2005; Gallardo & Valtorta 2007).

La relación negativa entre rendimiento y contenido de proteína, se encuentra ampliamente documentada para diversas especies de cereales y forrajeras (Dumont & Lanuza 1990; Oweis *et al.* 1999; Guttieri *et al.* 2005; Martínez *et al.* 2010; Peltonen – Sainio *et al.* 2012). Es por ello que desde el punto de vista nutricional, suele recomendarse el aprovechamiento de este tipo de recursos forrajeros antes de encañazón, emergencia de la panoja o floración. Sin embargo, la calidad que se obtiene en los estados ontogénicos mencionados y la producción de MS suelen estar

inversamente relacionados, con lo cual se busca un equilibrio relativo entre estos componentes. El equilibrio relativo entre cantidad MS y contenido de nutrientes es alrededor de grano lechoso (Dumont & Lanuza 1990; Martiniello *et al.* 1997; Lauriault & Kirksey 2004; Contreras – Govea & Albrecht 2006; Phillipp *et al.* 2005; Neal *et al.* 2011; Testa *et al.* 2011).

Algunas experiencias demostraron el beneficio de la fertilización nitrogenada como práctica para mejorar la relación entre cantidad de MS y contenido de proteína, aunque ligado también a otros factores tales como la temperatura, la disponibilidad hídrica y el momento de aplicación (Marino *et al.* 2004; Prystupa 2007; Albrizio *et al.* 2010)

2.5. Antecedentes de rendimientos y calidad del cultivo de avena a nivel local

Los rendimientos registrados por la Agencia de Extensión Rural Trevelin (AER Trevelin, 2011) (43 ° Latitud Sur), estiman 1.400 kg ha⁻¹ de grano y entre 6.000 – 6.700 kg ha⁻¹ de MS como valores de referencia de la producción del cultivo de avena en la zona. Los análisis de calidad de forraje en grano lechoso realizados en dicha oportunidad revelaron valores de 6,38 % de proteína bruta (PB), 66,87 % de FDN, 34,09 % de FDA, un 63,27 % de DIVMS y 2,43 Mcal kg MS⁻¹ de EM.

Los datos proporcionados por la AER Trevelin (2011) si bien no corresponden a datos de idéntica variedad de avena a la empleada en el ensayo, son el precedente más aproximado de parámetros de rendimiento y calidad de este cultivo a nivel local.

3. RIEGO

3.1. Antecedentes del efecto de riego en los cultivos en general.

Efectos del riego sobre rendimientos y calidad

Múltiples investigaciones realizadas hasta la fecha y con una gran diversidad de especies forrajeras y cereales demostraron la relación positiva y proporcional (hasta el exceso) entre una mayor disponibilidad de agua y rendimiento pero en relación inversa con la eficiencia en el uso del agua (EUA) y calidad del forraje (Powell & Kardos 1968; Al-Kaisi *et al.* 1997; Goodchild 1997; Jensen *et al.* 2001; Kang *et al.* 2002; Phillipp *et al.* 2005; Carmi *et al.* 2006; Payero *et al.* 2008; Montazar & Sadeghi, 2008; Miñón *et al.* 2009; Neal *et al.* 2011).

De acuerdo con Li *et al.* (2005), Xue *et al.* (2006) Qureshi & Neibling (2009) y Albrizio *et al.* (2010), y el riego tiene distintos efectos sobre los componentes del rendimiento según en qué etapa o estado ontogénico del cultivo se aplique.

3.1.1. Efecto del riego sobre la calidad

Lauriault & Kirksey (2004) Phillipp *et al.* (2005) y Sezen & Yazar (2006), destacan el efecto del riego sobre el incremento en los rendimientos pero en detrimento de la calidad. Chambouleyron (1980) Oweis *et al.* (1999) y Asay *et al.* (2002) reportan la relación inversa entre el riego y la cantidad de proteína tanto en grano como en forraje.

3.1.1.1. Riego + fertilización N.

Ensayos de efecto de la fertilización nitrogenada en condiciones de riego sobre productividad y calidad sugieren una relación inversa entre ambas variables respuesta. Cuanto mayor es la fertilización nitrogenada en condiciones de riego se obtienen mayores rendimientos pero menores cantidades de proteína en grano. Según

Oweis *et al.* (1999) sostienen que las disminuciones en el contenido de proteína en grano por efecto del riego se compensan parcialmente con el agregado de N. La cantidad de nitrógeno absorbido por superficie de suelo es mayor, pero repartida en una mayor cantidad de materia seca. Guttieri *et al.* (2005) reportaron que fertilizaciones nitrogenadas en condiciones de riego óptimo y supraóptimo, producen altos rendimientos, mayor eficiencia de utilización del nitrógeno, pero una respuesta menor en el aumento de la concentración de proteína por kg de MS, respecto a aquellas situaciones de fertilizaciones nitrogenadas en condiciones de restricción hídrica, que producen menores rendimientos, pero mayores concentraciones de proteína por kg de MS. Tanto Asay *et al.* (2002) en forraje como Guttieri *et al.* (2005) en grano sostienen que mientras el beneficio de la fertilización nitrogenada se traduce en incremento lineal de la calidad, la respuesta del rendimiento a la fertilización nitrogenada es cuadrática. Con mayores cantidades de materia seca por superficie, el contenido de proteína queda diluido en la masa de carbohidratos totales presentes en planta.

En caso de necesitar fertilizar con N, el momento de aplicación sugerido por Maddonni *et al.* (2003) sería hacia fines de macollaje mientras que Palta (2010) recomienda esperar hasta el momento de encañazón, puesto que en dicha etapa se produce aproximadamente el 70 % de la absorción del nitrógeno por parte del cultivo.

3.2. Riego deficitario: por qué regar en ciertas etapas

Oweis *et al.* (1999) y Neal *et al.* (2011) definen el riego deficitario (RD) como una estrategia por la cual se realizan aplicaciones de agua a niveles por debajo de los requerimientos completos del cultivo. Sánchez – Blanco & Torrecillas (1995) Sweeney *et al.* (2003), Fan *et al.* (2005) y Geerts & Raes (2009) consideran además, aplicar agua en las etapas o estados fenológicos más sensibles a la sequía (períodos críticos) como estrategia para mitigar los efectos de estrés hídrico sobre los rendimientos. De esta manera, el RD tendería a estabilizar - más que maximizar - los rendimientos e incrementaría la productividad del agua.

Tal es así que Li *et al.* (2005) y Xue *et al.* (2006) registraron aumentos en el rendimiento en trigo, por efecto del riego entre encañazón y anthesis. Fan *et al.* (2005) sostienen que regar durante la etapa de encañazón marca la diferencia sobre el rendimiento independientemente del tratamiento de riego.

Li *et al.* (2005) lograron hilar más fino en la explicación del efecto del riego cuando se aplicó en distintas etapas fenológicas o estados ontogénicos. De esta manera justifican que riegos durante la etapa de encañazón, incrementan el n° de espigas m⁻²; regar cuando el cultivo se encuentra en estado de vaina embuchada, aumentan el n° de granos espiga⁻¹; y riegos entre floración y grano lechoso aumentan el peso de grano.

Los planteos de producción de forraje del NO de Chubut, proponen riegos deficitarios en ciertas etapas de los cultivos, ya que, aunque variables en intensidad, duración y frecuencia, hay ocurrencia de precipitaciones naturales durante el período de crecimiento de los cultivos. Por otra parte, durante la temporada estival es cuando se registran los niveles más bajos de agua en los cursos permanentes y freática (Amico 2010), limitando la disponibilidad natural del recurso para regar, justificando aún más una estrategia de riego del tipo del RD.

3.3. Eficiencia del uso del agua.

Múltiples autores coinciden en la definición de eficiencia del uso del agua (EUA) como la relación entre el producto cosechado (forraje o grano) y la evapotranspiración (ET) registrada en toda la temporada de crecimiento del cultivo, desde la siembra hasta la cosecha (Davies 1994; Howell 2001; Zwart & Bastiaansen 2004; Li *et al.* 2005; Sezen & Yazar 2006; Ali *et al.* 2007; Geerts & Raes 2009; Neal *et al.* 2011; Rostanza *et al.* 2011; Lin *et al.* 2012)

Ali *et al.* (2007) Qureshi & Neibling (2009) y Neal *et al.* (2011) proponen además una ecuación para evaluar la eficiencia de riego (E_I), definida como la relación entre el producto cosechado (forraje o grano) y la cantidad de agua aplicada por riego.

En general, la EUA baja cuando aumenta la cantidad de agua aplicada por riego (Zhang *et al.* 2011; Lin *et al.* 2012), o bien cuando aumenta la ET (Li *et al.* 2005; Sezen & Yazar 2006). Situaciones de riego deficitario severas resultan en EUA mínimas (Sezen & Yazar 2006).

Por el contrario, la EUA aumenta cuando resultan situaciones de estrés hídrico leves (Rostamza *et al.* 2011) o en situaciones de sequo (Powell & Kardos 1968).

Fertilizaciones con N y P promueven la EUA a través de aumentos en el rendimiento, consecuencia del aumento de la masa de raíces y de una mayor exploración del perfil para la absorción de agua y nutrientes (Davis 1994; Li *et al.* 2004; Rodríguez 2008; Behera & Panda 2009).

Otras prácticas a favor del cultivo como el manejo integrado de plagas y enfermedades y el control de malezas también tienen un impacto positivo en la EUA (Dardanelli *et al.* 2003; Bessembinder *et al.* 2005).

3.4. Calidad de agua de riego

El agua de riego ejerce una gran influencia tanto sobre el cultivo como sobre las propiedades del suelo. Los problemas de salinidad y alcalinidad de los suelos sujetos a riego están estrechamente vinculados a las propiedades del agua empleada. En función del origen del agua de riego, ésta puede resultar una fuente de macronutrientes para el cultivo (N, P principalmente) con un efecto positivo y / o contener sales disueltas y otros elementos que pueden comprometer seriamente los cultivos y el uso futuro de ese suelo (sodio, metales pesados: cadmio, cromo, plomo, cobre, zinc y mercurio) (Avellaneda *et al.* 2004).

4. PLANTEO DEL PROBLEMA

Año a año, el productor se enfrenta a la incertidumbre de la temporada climática (Schinelli Casares 2009).

Con las expectativas de lograr mejoras en sus sistemas productivos, algunas Asociaciones de productores y productores particulares han adquirido equipos de riego por aspersión. Además, existe desde hace muchos años, un interés general y creciente en la necesidad de aumentar las productividades de los sistemas agrícolas con eficiencias cada vez mayores en el uso del agua (EUA), debido a su rol clave en la producción (Sammis 1980; Jabota *et al* 2006; Thompson *et al.* 2007; Geerts & Raes 2009)

El uso estratégico del riego, abre la posibilidad de asegurar o incluso incrementar un determinado nivel de rendimiento esperado (Fan *et al.* 2005; Xue *et al.* 2006; Geerts & Raes, 2009). Con un abastecimiento en cantidad y calidad de forraje, las explotaciones agropecuarias podrían planificar y ordenar de manera más adecuada y eficiente la alimentación del ganado (Guitar Fite 2013, comunicación personal).

Sin embargo, la falta de información técnica local y experiencias en el manejo de los equipos de riego, de las necesidades hídricas del cultivo y de la dinámica del agua en el suelo desluce el beneficio de esta práctica sobre los rendimientos de los cultivos y el rédito económico asociado.

Establecer cuánto puede cosecharse, si se afecta la calidad, cuál es el efecto del riego según el momento de aplicación en el cultivo y cómo se desempeñan los equipos de riego (eficiencias) bajo la modalidad de “riego deficitario” es clave para dar respuestas concretas y promocionar la producción de forraje en apoyo a los sistemas ganaderos de la región.

El presente trabajo toma esta propuesta para evaluar el efecto del riego sobre el rendimiento y calidad forrajera de un cultivo de avena, sembrado en primavera, bajo tres láminas distintas aplicadas en la etapa fenológica de espigazón para la temporada 2011/12.

5. OBJETIVOS GENERALES

- Evaluar el efecto del riego deficitario sobre la producción (forraje y grano) y la calidad de forraje de un cultivo de avena.
- Relacionar la producción con la EUA y E_I , válido para la zona de Trevelin, Provincia de Chubut, Argentina.

6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir las láminas aplicadas y compararlas con los requerimientos hídricos del cultivo.
- Calcular el balance hídrico del suelo y compararlo con humedad en el perfil determinada por gravimetría (evolución de la humedad en el perfil).
- Evaluar los coeficientes de uniformidad de Christiansen (CUC), y de distribución (CUD) de riego para evaluar la eficiencia del equipo de riego.
- Identificar los estados fenológicos generales del cultivo para el área de estudio y su correspondencia con la bibliografía sobre tiempo térmico (TT).

7. HIPÓTESIS

1. En situación de riegos deficitarios, el rendimiento máximo tanto de forraje como de grano se obtendrá con la mayor lámina de agua aplicada.
2. La EUA mejora en la medida que aumenta la productividad
3. La E_I tiene un comportamiento inverso a la EUA.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sitio de estudio tiene lugar en el departamento Futaleufú al noroeste de la Provincia de Chubut, Patagonia Argentina. Específicamente, el ensayo se llevó a cabo en el Campo Experimental Trevelin, dependiente de la Estación Experimental Agroforestal del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Esquel (EEA INTA Esquel) situado en las inmediaciones del paraje de Aldea Escolar (Latitud: $43^{\circ} 7' 8,81''$ Sur; Longitud: $71^{\circ} 32' 22,36''$ Oeste) (Figura 2).

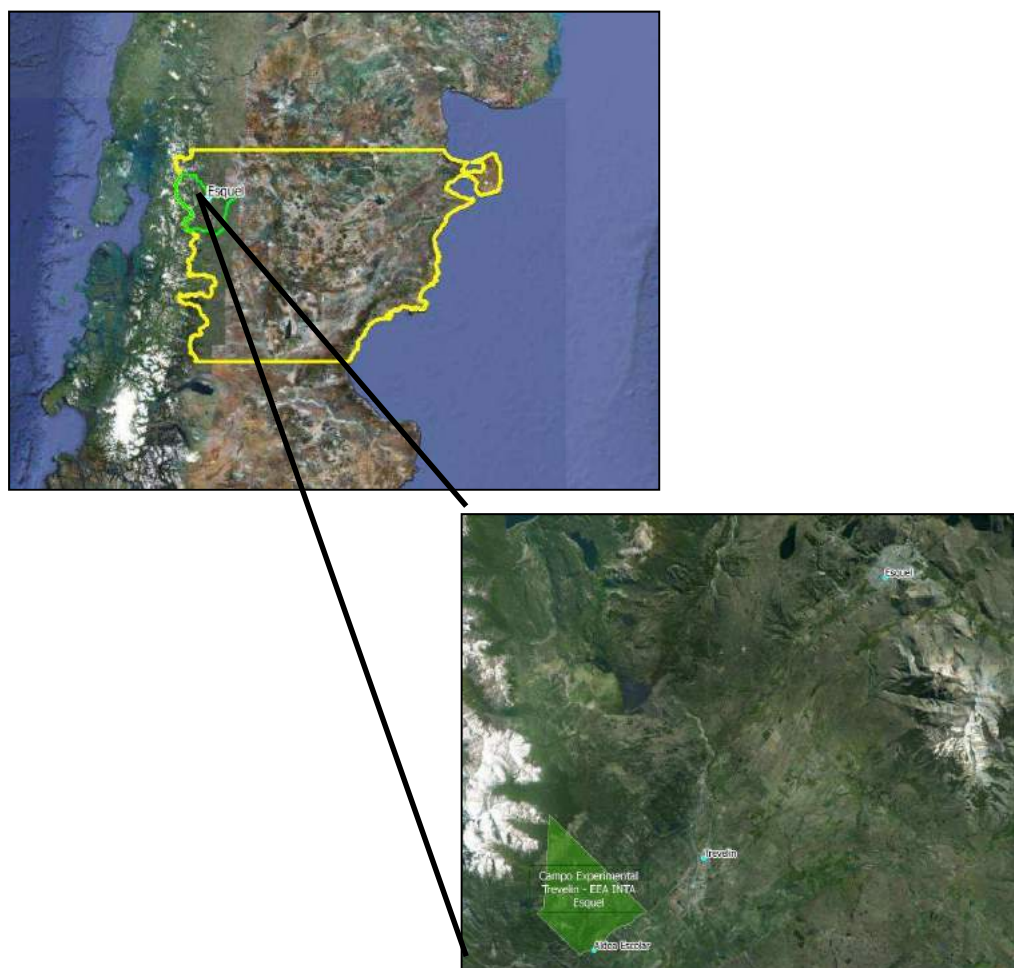


Figura 2. Ubicación geográfica del sitio de estudio. Material elaborado con QGIS®.

Figure 2. Study site localization. Maps obtained by QGIS® software.

La temperatura media anual para la zona es de 10 °C (Amico *et al.* 2001; sección de información agro - meteorológica: Clima on-line INTA Esquel). Las máximas medias anuales oscilan entre 15 y 18 °C y las mínimas medias anuales entre 2 y 4 °C (Mendez Casariego 2008) (Figura 3).

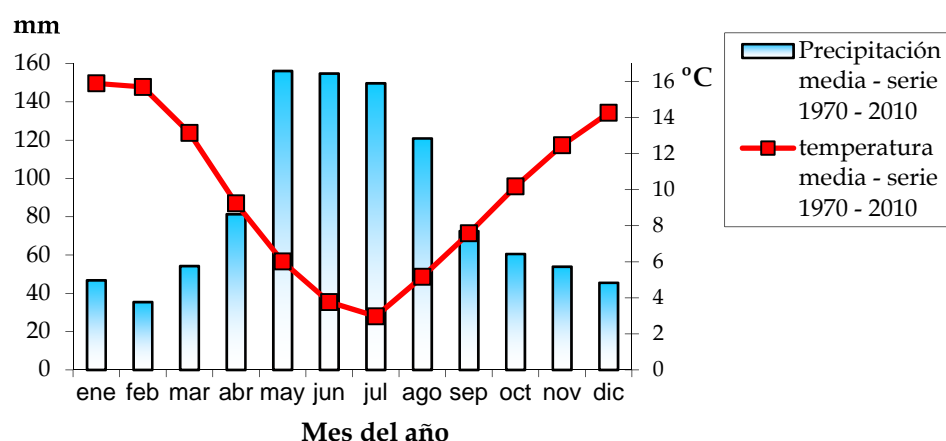


Figura 3. Distribución anual de las temperaturas (°C) y precipitaciones (mm) medias mensuales registradas a lo largo de una serie histórica de 40 años (1970 – 2010) en el Campo Experimental Trevelin – EEA INTA Esquel (43° 07' latitud Sur; 71° 33' longitud Oeste).

Figure 3. Year temperature (° C) and precipitation (mm) distribution recorded by the Trevelin Experimental Field – EEA INTA Esquel meteorological box (43° 07' South; 71° 33' West). Data collection from 1970 until 2010.

Los datos de la serie histórica 1970 – 2010 del Campo Experimental Trevelin indican una precipitación media de 1030 mm año⁻¹ (sección de información agro - meteorológica: Clima on-line INTA Esquel). La distribución de las precipitaciones a lo largo del año ocurre tal como indicaran Jobbágy *et al.* (1995): 70 % en otoño e invierno, y sólo un 12 % en los meses de verano.

En la Figura 4 se presenta la distribución mensual de las precipitaciones y la temperatura media mensual para el año 2011 (año en que se inició el ensayo), en comparación con la serie histórica de datos 1970 – 2010. Las temperaturas medias mensuales de 2011 son similares al registro histórico. Desde el punto de vista de las precipitaciones, se evidenció un año climático seco.

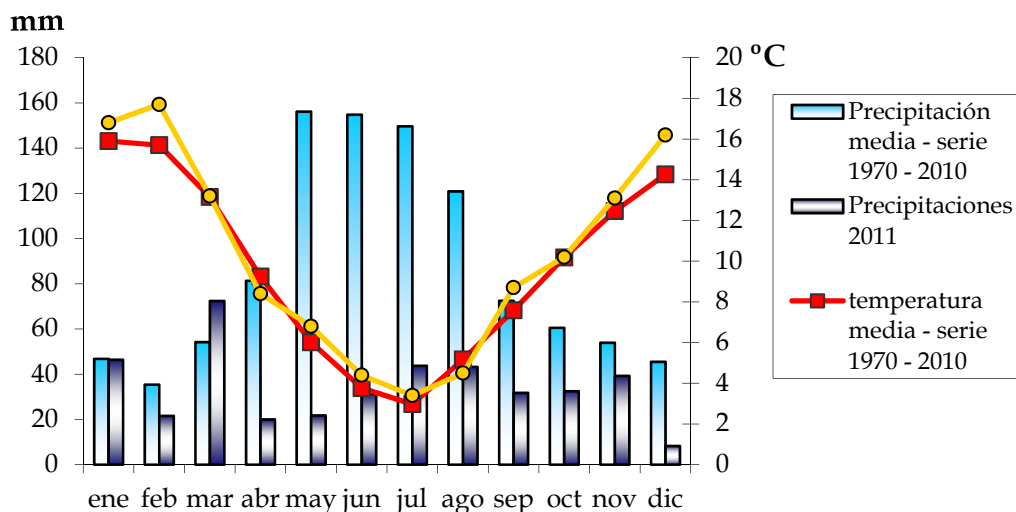


Figura 4. Temperatura media mensual (°C) y precipitaciones mensuales (mm) del año 2011 respecto de los registros de la serie histórica 1970 – 2010. Datos correspondientes a la estación meteorológica del Campo Experimental Trevelin –EEA INTA Esquel (www.climagro.com.ar, usuario:intaesquel, password:esquel)

Figure 4. 2011's anual mean precipitation and temperature data in comparison to the 1970 – 2010 historical records. Data from the Trevelin Experimental Field – EEA INTA Esquel's meteorological box (www.climagro.com.ar, user's name: intaesquel, password:esquel).

Los suelos de esta región se originaron principalmente a partir de cenizas volcánicas y llevan el nombre de “Andosoles” (FAO – ISRIC – ISSS 1998), o “Andisoles” (Soil Survey Staff 2010; Soil Survey Staff 1999; Irrisarri 2000). En general son suelos profundos con una retención hídrica superior al 35 % (V/V), con densidades aparentes bajas (entre 0,85-1 g cm⁻³), reacción ligeramente ácida, valores de bases de cambio de entre 10 y 15 cmol (+) kg de suelo⁻¹, alta friabilidad, alta porosidad, alta permeabilidad, alta estabilidad de agregados y valores entre 6 y 11 % de materia orgánica. La existencia de minerales del tipo aluminosilicatos no cristalinos o amorfos en la fracción de arcilla, principalmente alófano, imogolita, halositas ferrihidrita y complejos hùmus – aluminio – silicatos son los principales responsables de brindar características particulares a este tipo de suelos (Besoain 1985; Shoji *et al.* 1993).

2. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE RIEGO

El ensayo consistió en la aplicación de tres láminas de riego distintas a un cultivo de avena sembrado a fines de octubre de 2011. Se efectuaron cuatro riegos, desde el 06/01/2012 al 26/01/2012 (coincidente con la etapa fenológica de espigazón), que totalizaron 60 mm en el tratamiento T₆₀, 88 mm en el tratamiento T₈₈ y 103 mm en el tratamiento T₁₀₃. Estas láminas fueron las láminas media efectivas que alcanzaron el nivel del suelo en cada tratamiento.

La avena utilizada en el ensayo correspondió a la variedad “Máxima” (*Avena sativa* var *Máxima*) desarrollada por el área de Mejoramiento Genético Vegetal del INTA Bordenave (sudoeste Pcia. de Bs. As.), e introducida en el NO de Chubut alrededor del año 1999.

A campo se determinó la intensidad de precipitación de los tratamientos a través de la instalación de colectores (pluviómetros). Los recipientes colectores fueron dispuestos en línea, en sentido perpendicular a la trayectoria de retroceso del equipo enrollador según la metodología propuesta por Merriam & Keller (1978 b) a nivel de suelo. La lámina recolectada representó la precipitación efectiva por riego que alcanzó el suelo.

Los datos de la precipitación del equipo recolectados a campo, se utilizaron para:

- evaluar el efecto del riego en el cultivo (rendimiento y calidad de forraje; rendimiento en grano),
- contrastarlos con los requerimientos hídricos del cultivo,
- determinar la EUA del cultivo,
- determinar la E_I,
- calcular y graficar la evolución de la humedad en el perfil,
- estimar los coeficientes de uniformidad de Christiansen (CUC), de distribución (CUD), Ed y Ea_¼ para evaluar el desempeño del equipo de riego.

Para el riego se dispuso de un cañón o enrollador adquirido en 2010 marca Irri – Ar (origen Italia), modelo Compakta 100 / 330, acompañado por una tracto-bomba acoplada a un motor marca Deutz F4L 2011, 2300 r.p.m. modelo MDAR 224 con equipamiento estándar. La bomba correspondió a una Rovatti F43K80 / 3 – E.

Se desplegaron 235 m de manguera por cada pasada de riego y se utilizó una boquilla de 28 mm. Combinando las marchas y el comando de apertura de la turbina, se reguló la velocidad de retroceso del equipo y por ende la intensidad de agua precipitada (lámina). La velocidad de retroceso del trineo porta - aspersor se fijó en 50 m h^{-1} , 30 m h^{-1} y 20 m h^{-1} para los tratamientos T_{60} , T_{88} y T_{103} respectivamente.



Fotografías del equipo enrollador de riego. Traslado del equipo al sitio de riego y en funcionamiento. (fotografías propias)

El tamaño de la unidad experimental considerado fue de $5 \text{ m} \times 24 \text{ m}$ (120 m^2) (aunque la parcela regada fue mayor, ver Figura 5) en un diseño de bloques al azar (DBCA) dispuestos en una sola franja siguiendo la pendiente longitudinal natural del terreno (pendiente = $1,8 \%$). El factor de bloqueo lo constituyó la posición en el terreno diferenciándose una zona alta (bloque 1), una zona media (bloque 2) y una zona baja (bloque 3). Dentro de cada bloque se distribuyeron los tratamientos al azar, resultando en un DBCA de tres tratamientos (T_{60} , T_{88} y T_{103}) y tres repeticiones por tratamiento, uno dentro de cada bloque (Figura 5).



Figura 5. Croquis y localización de las parcelas de ensayo dentro del Campo Experimental Trevelin – EEA INTA – Esquel. Material elaborado con QGis®.

Figure 5. In field plots localization at Campo Experimental Trevelin – EEA INTA – Esquel. Maps and graphic obtained by QGis® software-

2.1. Relevamiento de datos edáficos

Previo a la aplicación de los tratamientos de riego y a los fines de realizar la caracterización edáfica correspondiente, se delimitaron las parcelas en el terreno y se efectuó un muestreo de suelo. Cada una de las parcelas fue transitada en forma de “X”, donde a intervalos regulares se tomaba una submuestra, tal que cada muestra quedara conformada por 18 - 20 submuestras. Las submuestras fueron tomadas con barreno a las profundidades de 0–20 cm, 20–40 cm y 40–60 cm para cada una de las nueve (9) parcelas bajo experimentación.

Las 27 muestras rotuladas e identificadas (9 parcelas x 3 estratos cada una) fueron enviadas al laboratorio de Suelos del Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP) – Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB) donde determinaron: pH (1:1), conductividad eléctrica (CE) $\mu\text{S cm}^{-1}$ (1:5), nitrógeno total por método Kjeldahl (Nt) (Bremmer, 1960), fósforo disponible (P) por método Olsen *et al.* (1954), potasio asimilable (K^+) según Bower *et al.* (1952), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) a través de complexometría con

EDTA, sodio (Na^+) según Richter *et al.* (1982) y Black (1965), porcentaje de materia orgánica (MO) en combustión seca según el método de Davies (1974), PSI (porcentaje de sodio intercambiable), capacidad de intercambio catiónico (CIC) según Richter *et al.* (1982), textura por medio del método del hidrómetro (Bouyoucos, 1927) y densidad aparente. El laboratorio de suelos del INTA Bariloche determinó las constantes hídricas de punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de campo (cc).

El dato del % de C para la relación C/N se obtuvo a través del valor de MO, según la ecuación 1 y 2 (Andrades Rodríguez 2012 b):

$$\% MO = \% C \times 1,7213$$

(ecuación 1)

$$\% C = \frac{\% MO}{1,7213}$$

(ecuación 2)

La capacidad de almacenamiento de agua útil en el perfil 0–60 cm (DT_{0-60} , ecuación 3) se calculó en función de los datos de cc y PMP proporcionados por el laboratorio de suelos de INTA Bariloche para cada estrato (ecuaciones 4, 5 y 6).

$$DT_{0-60}(mm) = dt_{0-20} + dt_{20-40} + dt_{40-60}$$

(ecuación 3)

$$dt_{0-20}(mm) = \{[(cc_{0-20} - PMP_{0-20}) \div 100] \times da_{0-20}(g\ cm^{-3}) \times prof(cm) \times da_{(agua)}^{-1}(g\ cm^{-3})\} \times 10\ mm$$

(ecuación 4)

$$dt_{20-40}(mm) = \{[(cc_{20-40} - PMP_{20-40}) \div 100] \times da_{20-40}(g\ cm^{-3}) \\ \times prof(cm) \times da_{(agua)}^{-1}(g\ cm^{-3})\} \times 10\ mm$$

(ecuación 5)

$$dt_{40-60}(mm) = \{[(cc_{40-60} - PMP_{40-60}) \div 100] \times da_{40-60}(g\ cm^{-3}) \\ \times prof(cm) \times da_{(agua)}^{-1}(g\ cm^{-3})\} \times 10\ mm$$

(ecuación 6)

2.1.1. Porosidad total (PT)

También se realizó un análisis de la porosidad total (%) en su relación con la aireación del suelo. La porosidad total se calculó como la relación entre la densidad aparente y la densidad real ($dr = 2,65\ g\ cm^{-3}$) (ecuación 7).

$$PT\ (\%) = \frac{da}{dr} \times 100$$

(ecuación 7)

2.1.2. Tasa de infiltración del suelo

La infiltración básica (Ib) del suelo se determinó in situ a través del método de doble anillos (Bouwer 1986). Las pruebas de infiltración a campo se realizaron manteniendo los residuos y la superficie intactos al momento de insertar los anillos en el suelo dado que el cultivo se planteó en siembra directa sin laboreo previo, incorporación ni remoción de los residuos en superficie, y basados en que el ensayo se efectuaría a través del sistema de aspersion con un equipo enrollador.

De los datos obtenidos a campo se obtuvieron los coeficientes “A” y “B” de la ecuación de Kostiakov de infiltración acumulada (Icum) (ecuación 8) necesarios para

la determinación de los coeficientes “a” y “b” de la ecuación de infiltración básica (Ib) del SCS (ecuación 9).

$$I_{cum} (mm) = A \times t (min)^B$$

(ecuación 8)

$$I_b (mm h^{-1}) = a (600 \times b)^b$$

(ecuación 9)

Donde:

I_{cum} es la infiltración acumulada (en $mm \text{ min}^{-1}$)

A es un coeficiente, el cual representa al velocidad de infiltración a $t = 1$; se expresa en $mm \text{ min}^{-(1+B)}$ o en $mm \text{ h}^{-(1+B)}$.

t es el tiempo de infiltración expresado en min u h

B es un exponente sin dimensión

$a =$ representa al velocidad de infiltración a $t = 1$ y se calcula de la siguiente manera:

$$a = A \times B \times 60$$

$b =$ es un exponente sin dimensión y se calcula de la siguiente manera:

$$b = B - 1$$

Fuente: Grassi (1998)

2.2. Cálculo de la demanda de nutrientes del cultivo

Los cálculos de disponibilidad de N:P:K se realizaron en base a los resultados medios por estrato proporcionados por el análisis de suelo.

2.2.1. Porcentaje de Nitrógeno asimilable (NA)

Sólo una fracción del Nt corresponde al N inorgánico o N asimilable (NA) que absorben las plantas a través de su sistema radical. Los microorganismos del suelo son los responsables de hacer la conversión del N orgánico en inorgánico. Se estima que sólo entre el 1,5 % y 3 % del Nt corresponde a la fracción inorgánica (Cuesta Muñoz & Villaneda Vivas 2005; Álvarez 2001 b)

En los cálculos de NA (kg ha^{-1}) se consideró el 1,5 % del Nt (ecuaciones 10 y 11) en la dotación total del perfil considerado (0–60 cm) (Maddoni *et al.* 2003).

$$NA(\%) = Nt(\%) \times 0,015$$

(ecuación 10)

$$PCA(t \text{ ha}^{-1}) = da (t \text{ m}^{-3}) \times \text{espesor estrato (m)} \times 10.000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$$

(ecuación 11)

donde $PCA = \text{peso de la capa arable en } t \text{ ha}^{-1}$

El cálculo del contenido de NA en cada estrato se calculó acorde a su proporción en el PCA. El contenido de NA del perfil evaluado (0–60 cm) resultó de la sumatoria del contenido de NA de cada estrato.

2.2.2. Fósforo (P)

Los requerimientos de este elemento se calcularon en función del contenido de P del estrato superficial (0–20 cm) por la importancia de este elemento en el enraizamiento del cultivo.

El contenido de P se determinó acorde a su proporción en el PCA para el estrato 0–20.

2.2.3. Potasio (K^+)

El procedimiento para calcular la cantidad de $kg K^+ ha^{-1}$ se efectuó en función de su proporción presente en el PCA de cada estrato (ecuación 11) debido a la movilidad del K^+ en el suelo (Báscones Merino 2004). La disponibilidad resultó de la sumatoria en el total del perfil.

Luego para poder comparar los resultados con la tabla de referencia propuesta por Báscones Merino (2004) fue necesario transformar los datos de $me L^{-1}$ a $mg kg^{-1}$:

$$mg kg^{-1} = ppm$$

$$ppm = me 100 g^{-1} \times peso\ equivalente\ del\ elemento \times 10$$

$$peso\ equivalente\ del\ K^+ = 39,1$$

2.3. Descripción de la siembra, fecha de siembra, y cultivo

El cultivo de avena (*Avena sativa* var. *Máxima*) se sembró el 27/10/2011 en siembra directa, con una sembradora marca Juber modelo 2018, a una distancia de 0,17 m entre hileras, a razón de 100 kg de semilla ha^{-1} . El análisis de suelo determinó la necesidad de fertilizar a razón de 80 kg ha^{-1} con un arrancador de composición 9:46:0 4:6 (N:P₂O₅:K₂O Ca:S). El fertilizante se incorporó al momento de la siembra (ver en el Anexo la sección “Disponibilidad de nutrientes de suelo para el cultivo de avena”).

El cultivo antecesor fue un alfalfar de 7 años. El lote entró en barbecho químico¹ en mayo del mismo año, momento en el cual se aplicó un herbicida de cobertura total para el control de malezas.

La siembra directa se efectuó sobre un suelo con cobertura de rastrojo de alfalfa y broza.

2.4. Humedad de suelo al momento de la siembra

El contenido de humedad del perfil al momento de la siembra se determinó a través de un muestreo de suelo a tres profundidades (0–20 cm, 20–40 cm y 40–60 cm) en cada una de las parcelas. Para el cálculo de la cantidad de agua presente en el perfil se emplearon las ecuaciones 20 a 24 (ver más adelante).

2.5. Implantación del cultivo: cantidad de plantas logradas por m^{-2} .

A los fines de evaluar el objetivo de logro de cantidad de plantas implantadas m^{-2} (pl m^{-2}) y como primer componente en la determinación del rendimiento (Slafer *et al.* 2003) se efectuó un recuento de densidad de plantas m^{-2} en cada una de las 9 parcelas experimentales. Para ello se emplearon marcos de 0,3 m x 0,6 m y entre 4 y 6 repeticiones por parcela.

2.6. Cálculo y registro de la fenología del cultivo

Si bien el objetivo principal de este trabajo de investigación no fue la fenología del cultivo de avena, se consideró registrar el estado fenológico del mismo para

¹ Ver el Glosario.

poder explicar el efecto de las prácticas de riego sobre los resultados finales obtenidos. Se registraron las fechas de los eventos más importantes del cultivo a través de la observación general directa a campo.

Por otra parte, de acuerdo a los requerimientos de tiempo térmico (TT, °C d) propuestos por Peltonen – Sainio & Rajala (2007) presentados en la tabla 12 del Anexo, se calculó la fecha probable de ocurrencia de dichas etapas para el cultivo de avena bajo ensayo. En una primera instancia se utilizó la temperatura media mensual histórica disponible de una base de datos de 40 años de antigüedad para estimar la fecha de floración (datos de la etapa pre-antesis según Peltonen – Sainio & Rajala 2007). En una segunda instancia, posterior a la realización del ensayo se efectuó el cálculo con el dato de la temperatura media diaria para la temporada 2011/12 (www.climagro.com.ar, usuario:intaesquel, password:esquel). La temperatura base (Tb) considerada hasta la acumulación de los primeros 150 °Cd (doble lomo) fue de 0° C (Slafer *et al* 2003; Sonogo *et al* 2000) y a partir de allí, para el cálculo de las etapas siguientes la Tb considerada fue 5 °C (Doorenbos & Kassam 1979; Peltonen – Sainio & Rajala 2007). Los resultados específicos de estos cálculos se presentan en tabla 13 del Anexo.

2.7. Cálculo de los requerimientos hídricos del cultivo

Los datos meteorológicos para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o) se obtuvieron de la estación meteorológica Pegasus, número de serie 1483, instalada dentro del Campo Experimental Trevelin en inmediaciones del lote donde se ubicó el ensayo. Los datos de temperatura de aire exterior (°C), lluvia caída (mm), velocidad de viento promedio (km h⁻¹), y humedad de aire exterior (%) se descargaron de la página on–line (www.climagro.com.ar, usuario: intaesquel, password o contraseña: esquel). La estación meteorológica registró datos con una frecuencia de 15 minutos.

La ET_o diaria (mm d⁻¹) se calculó de acuerdo a la ecuación de Penman – Monteith sugerida en la publicación FAO 56 (Allen *et al.* 2006). Debido a la falta de datos localizados de radiación, la ET_o se calculó con los promedios semanales de

viento, temperatura y humedad. Por lo tanto, el valor obtenido por cálculo corresponde a la ET_o media diaria ($mm\ d^{-1}$) de un período 7 días.

El dato de ET_o acumulado en el período de una semana (7 días), se multiplicó por el coeficiente del cultivo (kc) para obtener la ET_c y luego se le restó la precipitación efectiva (Pp_e) ocurridas durante ese mismo período, para obtener las necesidades netas (Nn) del cultivo (ecuación 12).

$$Nn = (Et_o \times kc) - Pp_e$$

(ecuación 12)

En el caso del kc , se emplearon los valores de trigo de primavera propuestos por Doorenbos & Kassam (1979), por la similitud que guarda éste con el cultivo de avena.

Para el cálculo de la Pp_e se consideró la ecuación del USDA-SCS presente en el software CROPWAT versión 8.0 (Swennenhuis *et al.* (2009) (ecuación 13).

$$Pp_e = (Pp \times (125 - 0,2 \times 3 \times Pp)) \div 125 \quad \text{para } Pp \leq 250/3 \text{ mm}$$

(ecuación 13)

Donde: Pp es el dato de las precipitaciones expresadas en mm

En el balance hídrico del cultivo, la fracción de agua aportada por la reserva del suelo se calculó mediante la ecuación 14:

$$\text{agua consumida de la reserva del suelo} = Etc_{aj} - Pp_e - I$$

(ecuación 14)

Donde:

- ET_{caj} = Evapotranspiración del cultivo ajustada (ver ecuaciones 26 y 27)
- Pp_e = Precipitación efectiva (mm)
- I = agua aportada por riego

2.8. Determinación de la calidad de agua de riego

Previo al inicio del ensayo experimental se tomó una muestra de agua del canal y se efectuó la caracterización físico química del agua de riego en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Cuyo. Las determinaciones consistieron en conductividad eléctrica (CE), pH, contenido de aniones y cationes.

La lectura de calidad e interpretación de la aptitud del agua para riego se realizó a través de la salida proporcionada por el “Modelo de Aguas de Riego” desarrollado por Avellaneda *et al* (2004) (ver Tabla 25 del Anexo).

2.9 Evaluación del riego: CUC, CUD, Ed y $Ea_{1/4}$

Los colectores instalados permitieron realizar la evaluación del desempeño del equipo de riego a través del coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidad de distribución (CUD), la eficiencia de descarga (Ed) y la eficiencia de aplicación del $1/4$ más desfavorecido ($Ea_{1/4}$) (Merriam & Keller 1978; Keller & Bliesner 1990 c; Tarjuelo Martín – Benito 2005 b; Pascual España 2008). Las ecuaciones que definen a la $Ea_{1/4}$, Ed, CUC y CUD, se especifican a continuación (ecuaciones 15, 16, 17 y 18 respectivamente).

$$Ea_{1/4} = \frac{\text{lámina media infiltrada (o recolectada) en el } 1/4 \text{ del área más desfavorecida (mm)}}{\text{lámina proyectada o lámina de tabla (mm)}} \times 100$$

(ecuación 15)

$$Ed = \frac{\text{lámina media infiltrada (o recolectada)(mm)}}{\text{lámina proyectada o lámina de tabla (mm)}} \times 100$$

(ecuación 16)

$$CUC = 1 - \left(\frac{\sum |z - m|}{n \times m} \right) \times 100$$

(ecuación 17)

$$CUD = 100 \times \frac{\text{lámina media infiltrada (o recolectada) en el } 1/4 \text{ del área más desfavorecida (mm)}}{m}$$

(ecuación 18)

Donde:

- **z** = lámina recolectada en cada colector (mm); medido
- **m** = lámina media ponderada (mm); medido
- **n** = n° de observaciones, medidas
- **Lámina media infiltrada (o recolectada) en el ¼ del área más desfavorecida** (medido)
- **Lámina media infiltrada (o recolectada)** (medida)
- **Lámina proyectada o lámina de tabla** = caudal de agua erogado por el (los) emisor(res) durante el tiempo de riego, dividido por el área regada.

El caudal de bombeo del equipo se calculó mediante la ecuación 19 (Keller & Bliesner 1990 b; Tarjuelo Martín-Benito 2005). Para ello, se empleó el dato de lámina objetivo que figura en la tabla específica del equipo, según las velocidades de operación seleccionadas para los tratamientos.

$$Q (L s^{-1}) = \frac{\text{lámina objetivo } (L m^{-2} día^{-1}) \times 10.000 (m^2 ha^{-1}) \times \text{Área}(ha)}{Ea \times \text{tiempo de riego por día } (h día^{-1}) \times 3600 s h^{-1}}$$

(ecuación 19)

Donde

- Lamina objetivo: lámina de agua efectiva que se desea aplicar; en este caso, se podía leer de la tabla proporcionada por el equipo. La misma vinculaba, el tamaño de boquilla, la presión de trabajo del aspersor y la velocidad de retroceso con la lámina aplicada.
- Ea: 70% (Keller & Bliesner 1990)

2.10. Balance hídrico del suelo

Para comparar los valores de humedad de suelo estimados a través del balance hídrico con las condiciones de suelo a campo, se tomaron muestras de suelo con barreno. Las mismas se efectuaron a tres profundidades: 0-20 cm, 20-40 cm y 40-60 cm (3 estratos * 3 tratamientos * 3 repeticiones = 27 muestras de suelo por semana). La humedad se determinó por método gravimétrico (ecuación 20). El muestreo se efectuó en el límite de la unidad experimental para evitar el disturbio de acumulación diferencial de agua en los hoyos efectuados por el barreno dentro del área de crecimiento del cultivo bajo estudio.

El primer muestreo se realizó al momento de la siembra y a partir del 29/11/2011 los muestreos se repitieron con una frecuencia semanal para cada una de las parcelas bajo ensayo hasta el momento del inicio del riego.

Una vez que se iniciaron los tratamientos de riego, las muestras de suelo se tomaron 24 hs después de cada riego.

Las muestras recolectadas a campo se pesaron antes y después de su secado en estufa (105 °C). Para ello se empleó una balanza digital de 3000 x 0,1 g de precisión. El contenido de humedad de las muestras (% g/ g) se calculó de acuerdo a la ecuación 20:

$$\text{Contenido de humedad } \left(\% \frac{g}{g} \right) = \left(\frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} \right) \times 100$$

(ecuación 20)

Los datos del contenido de humedad (% g/g) de cada fecha de muestreo se utilizaron para calcular la lámina remanente (Wr) (ecuación 21) en cada una de las parcelas. La lámina remanente total (WrT) resultó de la sumatoria de los valores de lámina por estrato (ecuaciones 22, 23, 24 y 25). Finalmente, se promediaron los datos de WrT para obtener la tendencia general de la humedad de suelo y se graficó junto a los resultados del balance hídrico.

$$Wr (mm) = \left[\frac{Wa - PMP}{100} \right] \times da (g \text{ cm}^{-3}) \times prof (cm) \times da_{(agua)}^{-1} (g \text{ cm}^{-3}) \times 10 \text{ mm}$$

(ecuación 21)

donde Wa es la humedad actual o bien humedad correspondiente a la fecha de muestreo determinada por método gravimétrico (ecuación 20).

$$WrT_{0-60} (mm) = Wr_{0-20} + Wr_{20-40} + Wr_{40-60}$$

(ecuación 22)

$$Wr_{0-20}(mm) = \{[(Wa_{0-20} - PMP_{0-20}) \div 100] \times da_{0-20}(g \text{ cm}^{-3}) \times prof(cm) \\ \times da_{(agua)}^{-1}(g \cdot cm^{-3})\} \times 10 \text{ mm}$$

(ecuación 23)

$$Wr_{20-40}(mm) = \{[(Wa_{20-40} - PMP_{20-40}) \div 100] \times da_{20-40}(g \cdot cm^{-3}) \times prof(cm) \\ \times da_{(agua)}^{-1}(g \text{ cm}^{-3})\} \times 10 \text{ mm}$$

(ecuación 24)

$$Wr_{40-60}(mm) = \{[(Wa_{40-60} - PMP_{40-60}) \div 100] \times da_{40-60}(g \text{ cm}^{-3}) \times prof(cm) \\ \times da_{(agua)}^{-1}(g \text{ cm}^{-3})\} \times 10 \text{ mm}$$

(ecuación 25)

El balance hídrico se calculó siguiendo la metodología propuesta por FAO (Allen, 2006 b) para la estimación del coeficiente de estrés del cultivo (k_s) (ecuación 26) y el cálculo de la evapotranspiración del cultivo ajustada (ET_{caj}) (ecuación 27).

$$Etc_{aj} = k_s \times Eto \times kc$$

(ecuación 26)

$$k_s = \frac{DT-D}{DT-AFA} = \frac{DT-D}{(1-p) \times DT}$$

(ecuación 27)

Donde:

- k_s = factor sin dimensión de reducción de la transpiración que depende de la cantidad de agua disponible en el suelo (0 – 1)
- D = agotamiento de humedad en la zona radicular (mm)
- DT = capacidad de almacenamiento de agua útil en el perfil considerado
- AFA = agua fácilmente disponible o aprovechable
- p = fracción de DT que un cultivo puede extraer de la zona radicular sin sufrir estrés hídrico. En el caso de la avena se consideró un $p = 0,55$ según la publicación de FAO 56 (Allen, 2006 b)

El punto de partida fue el agua disponible promedio (W_rT) a la siembra para parcelas de un mismo tratamiento.

2.11. Forraje

2.11.1. Determinación del rendimiento de materia seca

A la semana del último riego (cultivo en grano lechoso) y para el análisis del efecto del riego sobre el rendimiento y calidad de forraje, se tomaron cuatro submuestras de forraje en muestreo sistemático al azar con marcos de 0,3 m x 0,6 m. Las cuatro submuestras conformaron la muestra efectiva del tratamiento correspondiente.

El rendimiento se obtuvo de la suma tanto de los pesos como las superficies cosechadas de cada submuestras y luego se proyectó el dato a kg MS ha^{-1} para cada repetición y tratamiento. Es decir:

$$(0,3 \times 0,6) \text{ m}^2 \times 4_{\text{submuestras}} = 0,72 \text{ m}^2$$

$$peso_{subm 1} + peso_{subm 2} + peso_{subm 3} + peso_{subm 4} = kg MS en 0,72 m^2$$

El dato de los pesos de materia fresca y seca se obtuvo a través de la lectura de una balanza digital de 3000 x 0,1 g de precisión.

2.11.2. Determinación de la calidad de forraje

En el caso de las determinaciones de calidad, se formó una sola muestra compuesta por fracciones de cada submuestra cosechada, hasta reunir 1 kg aprox. de MS en total, para cada repetición y tratamiento. Estas muestras se enviaron al Laboratorio de la Cátedra de Química Agrícola de la Fac. de Cs. Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo donde determinaron: % humedad (estufa de 105 °C), % cenizas, % proteínas totales (Método Kjeldhal), % grasas (Método de Destilación con éter etílico) y % fibra bruta (Método de digestión ácido-alkali) según el esquema Weende. FDA y FDN fueron determinados a través del método Van Soest (1982) y Van Soest *et al.* (1991).

Para poder hacer comparativos los resultados obtenidos por el esquema Weende con otros protocolos de evaluación de calidad de forrajes (Van Soest (1994), por ejemplo) se calculó el extracto libre de nitrógeno (ELN) (ecuación 28) y luego el valor energético o energía metabolizable (EM) en Mcal kg MS⁻¹, según la ecuación 29.

$$ELN = 100 - (\% cenizas + \% proteínas totales + \% grasas + \% fibra bruta)$$

(ecuación 28)

$$EM (Mcal \text{ kg } MS^{-1}) = (4,2 \times \text{proteína bruta}) + (8,5 \times \% \text{ grasas}) + (3,5 \times ELN)$$

(ecuación 29)

El % de DIVMS se calculó de acuerdo a la ecuación 30 (Di Marco 2011):

$$DIVMS (\%) = 88,9 - (FDA(\%) \times 0,779)$$

(ecuación 30)

2.12. Grano

2.12.1 Determinación del rendimiento de grano

Una vez que el cultivo alcanzó la madurez de cosecha se procedió a realizar la remoción de material (panojas) para la evaluación de rendimiento de grano. Se utilizó el mismo procedimiento de muestreo y cálculo que para las evaluaciones de forraje, pero con marcos de 1 m x 1 m.

El material se trilló a gabinete de forma manual (ver secuencia de fotografías a continuación). Se separaron a mano los granos enteros del pedúnculo y por fricción contra una malla metálica de 2 x 2 mm, se logró romper glumas y raquis, que pasaban a través de la misma. Para la remoción final del residuo se expuso el material a una corriente de aire generada por un compresor. De esta manera, el grano quedó limpio para ser pesado. Se empleó la misma balanza digital que para las muestras de forraje y suelo, de 3000 x 0,1 g de precisión.



Secuencia de método para trillado manual de avena (fotografías propias).

2.12.2. Peso de 1000 semillas

De acuerdo al momento en que se aplicaron los tratamientos de riego, podría esperarse una respuesta diferencial sobre el peso de grano (Li *et al.* 2005). Por estos motivos se procedió a hacer el recuento manual y peso de 1000 semillas. El peso de las 1000 semillas correspondientes a cada repetición y tratamiento se efectuó con la misma balanza digital de 3000 x 0,1 g de precisión.

2.12.3. Número de granos

A través del dato del peso de 1000 granos y del rendimiento en grano se calculó el número de granos por repetición y tratamiento.

2.13. Cálculo de la eficiencia del uso del agua (EUA)

Para calcular la EUA de cada uno de los tratamientos de riego experimentados se consideraron las ecuaciones propuestas por Davies (1994), Howell (2001), Zwart & Bastiaansen (2004), Li *et al.* (2005), Sezen & Yazar (2006), Ali *et al.* (2007), Geerts & Raes (2009), Neal *et al.* (2011), Rostamza *et al.* (2011) y Lin *et al.* (2012) (ecuaciones 31 y 32).

$$EUA (kg \cdot m^{-3}) = \frac{\text{rendimiento} (kg \text{ ha}^{-1})}{ET_r (m^3 \text{ ha}^{-1})}$$

(ecuación 31)

$$ET_r = Pp_e + I + \Delta SW - Rf - Dp$$

(ecuación 32)

Donde:

- ET_r = evapotranspiración real
- Pp_e = precipitaciones efectivas de toda la temporada del cultivo,
- I = riego,
- ΔSW = variación en el contenido de humedad de suelo, entre siembra (w_{siembra}) y cosecha (w_{cosecha}) en los 60 cm de perfil considerado (Li *et al.*, 2005), ($\Delta SW_{(0-60 \text{ cm})} = w_{\text{siembra}} - w_{\text{cosecha}}$)
- Rf = escorrentía superficial
- Dp = percolación profunda

El término ΔSW requirió conocer la cantidad de agua total consumida en la temporada de cultivo considerada. El dato de la humedad de suelo tanto al momento de la cosecha de forraje, como al momento de la cosecha de grano no estuvo disponible. Por estos motivos se procedió a estimar la humedad de suelo a cosecha de forraje y de grano restándole a la última lámina de agua de suelo registrada, la $ET_{c_{aj}}$

del período correspondiente. En el caso de la cosecha de forraje, la ET_{caj} correspondió al período de una semana; en el caso de la cosecha de grano la ET_{caj} correspondió a un período de cuatro semanas, siempre contabilizadas a partir del último riego. De esta manera se obtuvo una simulación de la posible situación final del estado hídrico del perfil.

En el balance hídrico del suelo se descartó el término de escurrimiento superficial (Rf) debido a que las láminas aplicadas en cada evento de riego no excedieron los valores de infiltración básica (Ib) del suelo.

Para calcular la Dp se empleó la ecuación 33 propuesta por FAO (Allen, 2006 b). La Dp empleada en el cálculo de EUA resultó de la sumatoria de los valores de Dp registrados a lo largo de la temporada en cada tratamiento.

$$Dp = (Pp_e - Rf) + I + Etc_{aj} - D_{d-1}$$

(ecuación 33)

Donde:

- Dp = percolación profunda del día
- Pp_e = precipitación efectiva registrada del día
- Rf = escurrimiento superficial registrada del día = 0
- I = riego del día
- ET_{caj} = evapotranspiración ajustada del día
- D_{d-1} = déficit hídrico al final del día anterior

La Dp registrada entre la fecha de siembra y la emergencia del cultivo, se calculó de acuerdo a la diferencia entre Wa y cc . En todos los tratamientos se produjo percolación profunda entre fecha de siembra y emergencia debido a que los estratos 20-40 cm y 40-60 cm de todas las parcelas se encontraban saturados. El día 21 de noviembre se produjo Dp como consecuencia de una lluvia efectiva de 34,5 mm.

2.14. Cálculo de la eficiencia de uso del agua de riego (E_I)

La E_I se calculó según la ecuación 34, propuesta por Ali *et al.* (2007), Qureshi & Neibling (2009) y Neal *et al.* (2011) ():

$$E_I(kg\ m^{-3}) = \frac{\text{rendimiento } (kg\ ha^{-1})}{I\ (m^3\ ha^{-1})}$$

(ecuación 34)

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El modelo empleado en el DBCA respondió a la siguiente expresión:

$$Y_{ij} = \mu + \rho_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = es la variable respuesta del i –ésimo bloque con el j –ésimo tratamiento
 μ = media general de la variable respuesta
 ρ_i = efecto del bloque i ,
 τ_j = efecto del tratamiento j
 ε_{ij} = error experimental de la parcela que está ubicada en el i
 –ésimo bloque y recibió el j –ésimo tratamiento

Los supuestos que soportan este modelo son que los errores se distribuyen en forma normal, con varianza constante e independientes entre tratamientos y que no existe interacción entre bloques y tratamientos.

Al ser un modelo aditivo (sin interacción tratamiento * bloque) el efecto de los tratamientos es igual en todos los bloques, aunque existan diferencias entre los valores observados de un mismo tratamiento entre bloques (Cátedra de Estadística de FAUBA, 2000). Los bloques no tienen influencia sobre las diferencias entre los tratamientos por el principio de homogeneidad entre parcelas de un mismo bloque (Balzarini *et al.* 2008).

El análisis de los datos se realizó a través de la técnica del ANOVA (Análisis de la Varianza). Para determinar el nivel de significancia estadística entre las medias de los tratamientos se empleó un alfa (α) = 0,1.

Para verificar el supuesto de normalidad del ANOVA se utilizó la prueba de Shapiro-Wilks modificado. En el caso del análisis de la homocedasticidad de la varianza se generó un ANOVA sobre los valores absolutos de los residuos del error con una sola vía de clasificación (tratamiento). En estos casos, si el valor p resulta superior al nivel de significancia establecido (α (alfa) = 0,1) se acepta la hipótesis nula, concluyendo que los residuos tienen distribución normal y/o las varianzas son homogéneas. En caso que el valor de p fuera inferior al nivel de alfa establecido (α = 0,1), se rechaza la hipótesis nula. De ser así, se concluiría que en alguna o en ambas pruebas no hay una distribución normal u homocedasticidad de la varianza evidenciando la necesidad de reformular el análisis estadístico propuesto a través de un modelo mixto.

En el análisis de la densidad de plantas por m², y sin efecto de los tratamientos de riego, la variable dependiente correspondió a la cantidad de plantas por m²; “parcela” fue la variable de clasificación particionado por bloques para evaluar las diferencias entre parcelas dentro de un mismo bloque. El nivel de significancia empleado correspondió a un alfa (α) = 0,05.

El modelo estadístico en este caso fue:

$$Y_{ij} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = es la variable respuesta del i – ésimo bloque con la j – ésima parcela
= cantidad de plantas por m^2

μ = media general de la variable respuesta

ρ_i = efecto del bloque i ,

α_j = efecto de la parcela j

ε_{ij} = error experimental de la j – ésimas parcela ubicada en el i
– ésimo bloque

Los análisis se efectuaron a través del software estadístico InfoStat versión 2010 (Di Rienzo *et al.* 2010).

RESULTADOS

1. DATOS EDÁFICOS

Los resultados, interpretación y discusión de los análisis de suelos pueden consultarse en el Anexo (ver “ Resultados del relevamiento de datos edáficos”).

En síntesis, no se encontraron impedimentos para el normal desarrollo del cultivo en lo que se refiere a pH y CE. En materia de nutrientes se observó la necesidad de elevar el nivel de P por medio de fertilización. Para el caso se empleó un fertilizante “arrancador” de composición 9:46:0 4:6 (N:P₂O₅:K₂O Ca:S) a razón de 80 kg ha⁻¹ incorporado al momento de la siembra. Para más detalles ver “Disponibilidad de nutrientes de suelo para el cultivo de avena” en el Anexo.

Los ensayos de infiltración realizados a campo (4 ensayos en total, los pares de datos pueden consultarse en el Anexo, Tabla 20, Figura 19), determinaron una Ib de 41,6 mm h⁻¹, que caracteriza al suelo con una infiltración moderadamente rápida, según las clases de infiltración propuestas por el Soil Quality Institute del Agricultural Research Service – Natural Resources Institute del USDA (2001).

La ecuación obtenida fue:

$$Icum (mm) = A * t_{(min)}^B = 2,7 * t_{(min)}^{0,775} \quad R^2 = 0,659$$

Las láminas de riego aplicadas en ningún momento superaron la Ib obtenida a partir de los ensayos a campo, permitiendo descartar en la ecuación de EUA (ecuación 31) y Dp (ecuación 33) la pérdida de agua del sistema por escurrimiento superficial.

Los resultados de humedad de suelo evidenciaron el estrato 0-20 estaba en un 85,8 % de su capacidad de campo al momento de la siembra, mientras que los estratos 20-40 y 40-60 se encontraban saturados.

2. CANTIDAD DE PLANTAS POR m²

Los resultados indican que no existieron diferencias significativas en la cantidad de plantas logradas por m² entre parcelas de un mismo bloque ($F_{\text{bloque I (2;13)}} = 0,37, p = 0,70$); $F_{\text{bloque II (2;12)}} = 1,33, p = 0,30$; $F_{\text{bloque III (2;9)}} = 0,29, p = 0,70$). Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Densidad de plantas por m² dentro de las parcelas de cada bloque. Letras iguales dentro del bloque indican que no hay diferencias significativas ($\alpha = 0,05$)

Table 1. Plant density among plots of a same block. Same letters inside each block mean no statistics differences ($\alpha = 0,05$).

Bloque	Parcela	plantas.m ⁻²	
I	3	111	a
I	1	128	a
I	2	136	a
II	4	116	a
II	6	122	a
II	5	162	a
III	9	104	a
III	7	121	a
III	8	130	a

Las parcelas 1, 6 y 7 recibieron posteriormente el tratamiento T₆₀; las parcelas 2, 5 y 8 recibieron el tratamiento T₈₈ y las parcelas 3, 4 y 9 el tratamiento de riego T₁₀₃.

3. FENOLOGÍA DEL CULTIVO

Los resultados de la observación directa del ensayo realizado se presentan en la Tabla 2.

En la etapa de pre-antesis los registros fenológicos a campo coinciden con las fechas aproximadas a través del TT proporcionado por Peltonen – Sainio & Rajala (2007) (Tabla 13 del Anexo).

Tabla 2. Registro fenológico a campo del cultivo de avena bajo experimentación, en la temporada 2011 / 12.

Table 2. In field oat phenological stages recordings for the 2011/12 season.

registro fenológico a campo	fecha
siembra	27/10/2011
emergencia	11/11/2011
macollaje	01/12/2011
encañazón	22/12/2011
vaina engrosada	27-28/12/2011
espigazón	04/01/2012
cuajado	12/01/2012
Inicio grano lechoso	19/01/2012
cosecha de forraje en grano lechoso	01/02/2012
cosecha de grano	29/02/2012

4. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DEL CULTIVO

La Tabla 3 presenta la asignación del kc al estado o etapa fenológica del cultivo según los registros realizados a campo.

Tabla 3. Asignación del kc a las etapas o estados fenológico del cultivo registrados a campo según Doorenbos & Kassam (1979).

Table 3. kc coefficient assignment as suggested by Doorenbos & Kassam (1979) to the in field oat phenological stages recordings.

Registro fenológico a campo	Fecha	Kc	Estado general del cultivo	Fenología
Siembra	27/10/2011	0,3	establecimiento	Establecimiento
Emergencia	11/11/2011	0,3	estado inicial	Vegetativo temprano
Macollaje	1/12/2011	0,51	crecimiento	Vegetativo tardío
Encañazón	22/12/2011	1,15	mitad de temporada	Floración
Vaina engrosada	27/12/2011	1,15	mitad de temporada	Floración
Espigazón	4/1/2012	1,15	mitad de temporada	Floración
Cuajado	12/1/2012	1,15	temporada tardía	Formación del rendimiento
Inicio Grano lechoso	19/01/2012	1,15	temporada tardía	Formación del rendimiento
Cosecha de forraje en grano lechoso	1/2/2012	0,78	cosecha	
Cosecha de grano	29/02/2012	0,25	cosecha	Madurez

La Figura 6 grafica los valores de kc a lo largo del ciclo del crecimiento de la avena. Ha sido obtenida a partir de los datos de Doorenbos & Kassam (1979) para trigo (por su similitud con la avena) ajustada al ciclo del cultivo según observaciones realizadas en Esquel – Chubut en la temporada 2011/12.

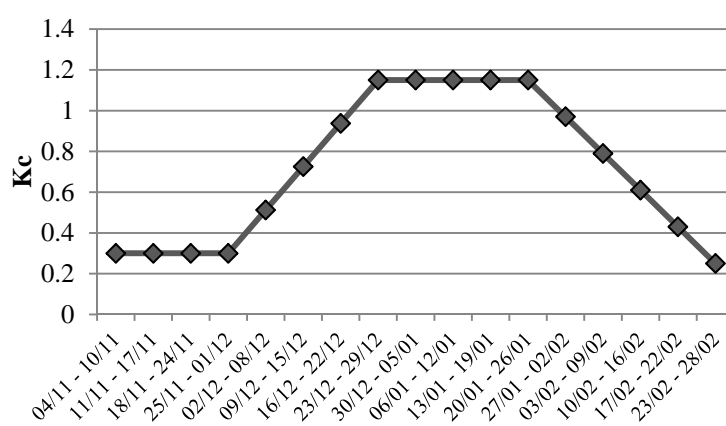


Figura 6. Valores de kc del cultivo de avena adaptado para Esquel – Chubut (elaboración propia)

Figure 6. Kc values for oat at Esquel – Chubut localization (by own elaboration)

La Tabla 4 presenta los valores de ET_o medios diarios calculados según la ecuación de Penman-Monteith con datos de radiación faltantes, la ET_o del período considerado (semanal), las precipitaciones, el resultado del cálculo de la Pp_e según la ecuación de USDA-SCS (ecuación 13), el resultado final de ET_c y las Nn del cultivo. De estos valores se desprende que el requerimiento hídrico del cultivo en las condiciones de producción local para la temporada 2011/12 fue de 474,5 mm.

Tabla 4. Estimación semanal de la ET_o , ET_c , y Nn del cultivo de avena a lo largo de la temporada de crecimiento.

Table 4. Weekly ET_o , ET_c and net crop requirements (Nn) during the oat growing season.

Periodo	ET_o (mm/día)	ET_o período (mm)	kc	Pp acumulada en el período (mm)	Pp_e acumulada en el período (mm)	ET_c (mm)	$Nn = ET_c - Pp_e$ (mm)	Obs.
04/11 - 10/11	4,6	32,2	0,3	1	1,0	9,7	8,7	
11/11 - 17/11	6,13	42,91	0,3	0	0,0	12,9	12,9	
18/11 - 24/11	4,09	28,63	0,3	34,5	28,8	8,6	0,0	
25/11 - 01/12	4,81	33,67	0,3	3,8	3,7	10,1	6,4	
02/12 - 08/12	5,53	38,71	0,51	0,3	0,3	19,7	19,4	
09/12 - 15/12	5,38	37,66	0,73	0	0,0	27,5	27,5	
16/12 - 22/12	4,78	33,46	0,94	8	7,7	31,5	23,8	
23/12 - 29/12	6,75	47,25	1,15	0	0,0	54,3	54,3	
30/12 - 05/01	7,05	49,35	1,15	0	0,0	56,8	56,8	
06/01 - 12/01	5,49	38,43	1,15	24,8	21,8	44,2	22,3	1 ^{er} riego
13/01 - 19/01	6,74	47,18	1,15	0	0,0	54,3	54,3	2 ^{do} riego
20/01 - 26/01	5,96	41,72	1,15	2,5	2,5	48,0	45,5	3 ^{er} riego
27/01 - 02/02	4,94	34,58	0,97	40,3	32,5	33,5	1,0	4 ^{to} riego
03/02 - 09/02	4,88	34,16	0,79	7,5	7,2	27,0	19,8	Cosecha forraje
10/02 - 16/02	4,94	34,58	0,61	7,3	7,0	21,1	14,0	
17/02 - 23/02	3,67	25,69	0,43	10	9,5	11,0	1,5	
24/02 - 28/02	3,5	17,5	0,25	4,5	4,4	4,4	0,0	
29/02	Total	617,7	-	144,5	126,5	474,5	368,2	Cosecha grano
Total etapa de riego				67,6	56,8	180,0	123,1	

Nota:

- kc: obtenido de Doorenbos & Kassam (1979) y adaptado al lugar de ensayo.
- Pp_e obtenida a partir de la ecuación del USDA-SCS (CROPWAT) (Swennenhuis, *et al.* 2009) (ver ecuación 13).

La Figura 7 presenta las necesidades netas de riego acumuladas para el cultivo de la avena durante el ciclo agrícola 2011/2012. El valor se aproxima a los 370 mm.

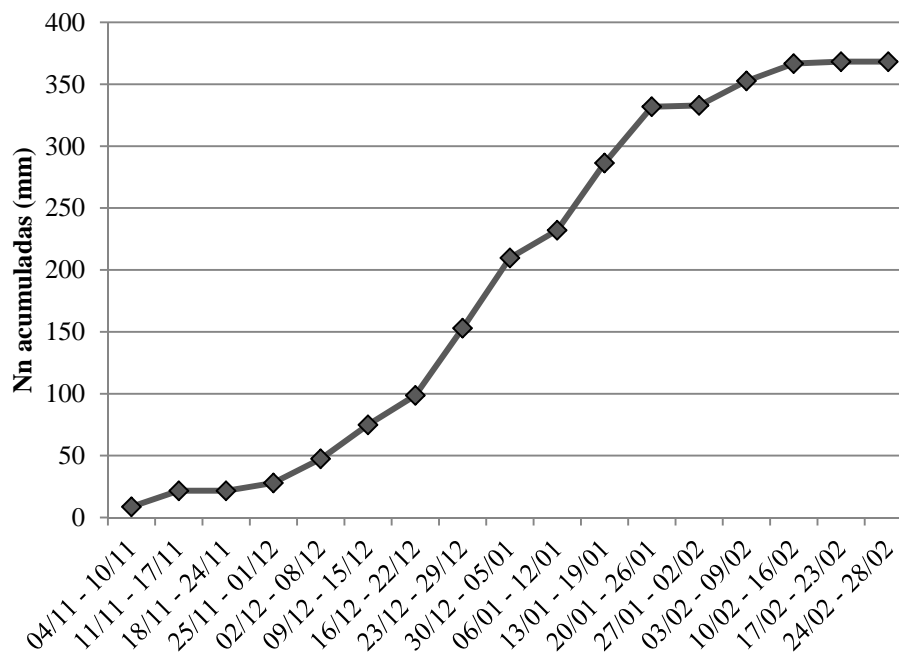


Figura 7. Necesidades netas (Nn) acumuladas de avena para Esquel, Chubut

Figure 7. Oat cummulative net water requirements for Esquel (Chubut) localization.

En la Figura 8 se integran gráficamente los datos de ET_c y Nn , con los datos disponibles de precipitación (Pp) y precipitación efectiva (Pp_e). También se indica los distintos estados ontogénicos del cultivo a lo largo de la temporada y el momento en que se efectuaron los riegos.

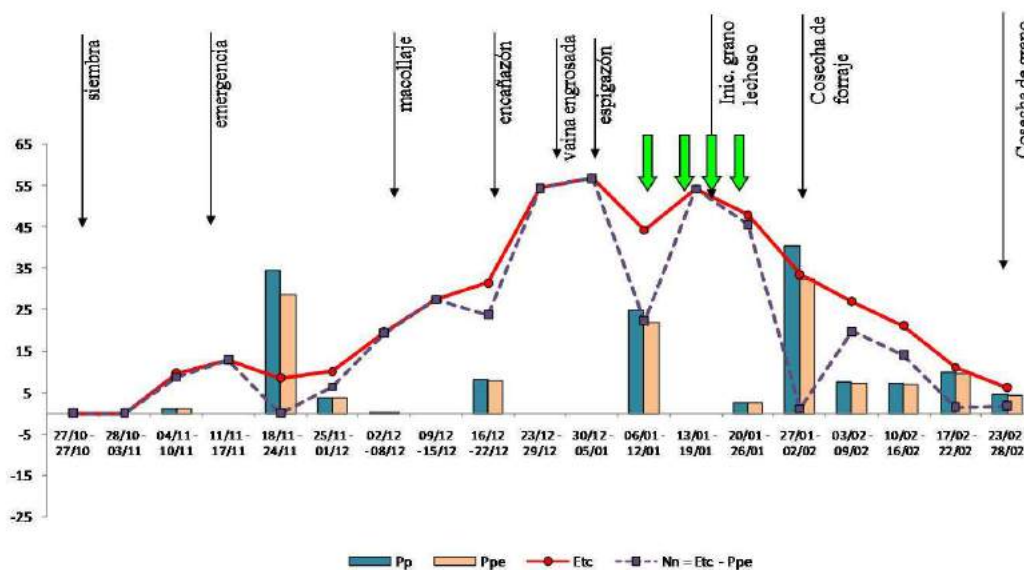


Figura 8. Evolución de la evapotranspiración semanal del cultivo (ET_c) desde emergencia hasta cosecha, precipitaciones (P_p), precipitación efectiva (P_{pe}) y fenología del cultivo. Las flechas gruesas indican los momentos en que el cultivo recibió los distintos tratamientos de riego

Figure 8. Weekly crop evapotranspiration (ET_c) from emergence until harvest time, natural rainfall (P_p), effective rainfall (P_{pe}) and oat phenology along the season. Thick arrows indicate irrigation treatments application.

La Figura 9 muestra la fracción aportada por las diferentes fuentes de agua componentes a las necesidades hídricas totales del cultivo, asumiendo la ET_c máxima (óptima) de 474,5 mm.

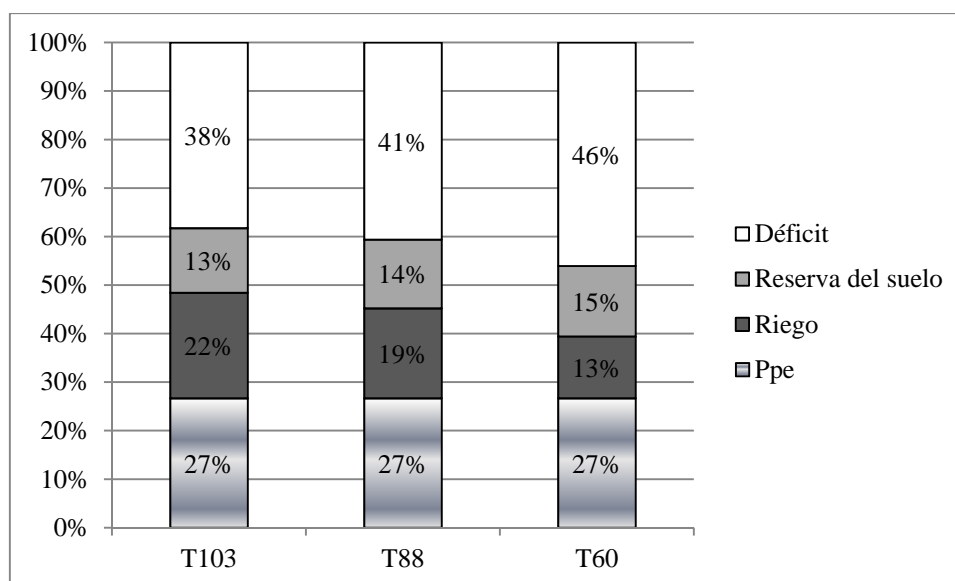


Figura 9. Porcentaje de la evapotranspiración máxima del cultivo, suplida por la precipitación efectiva, el riego y la reserva de agua del suelo, para cada tratamiento. Se indica también el déficit de agua.

Figure 9. Maximum evapotranspiration (%) supplied by effective rainfall, irrigation and soil water reservation for each of the irrigation treatments. Water deficit is also indicated.

Como puede apreciarse, las precipitaciones (precipitación efectiva) aportaron el 27 % de las necesidades del cultivo; los tratamientos de riego el 22 %, 19 % y 13 % para el T₁₀₃, T₈₈ o T₆₀ respectivamente, y la reserva de agua del suelo en los primeros 60 cm del suelo el 13 %, 14 % y 15 % respectivamente para cada tratamiento. De esta manera, el cultivo enfrentó un déficit hídrico del 38 %, 41 % y 46 % según cada tratamiento para la temporada 2011/12.

Si se efectúa un análisis similar pero considerando la ET_{caj} , se observa que la Pp_e aportó un 43 %, 45 % y 49 % en los tres tratamientos, un 35 %, 31 % y 24 % el riego y un 22 %, 24 % y 27 % la reserva de agua del suelo (Figura 10).

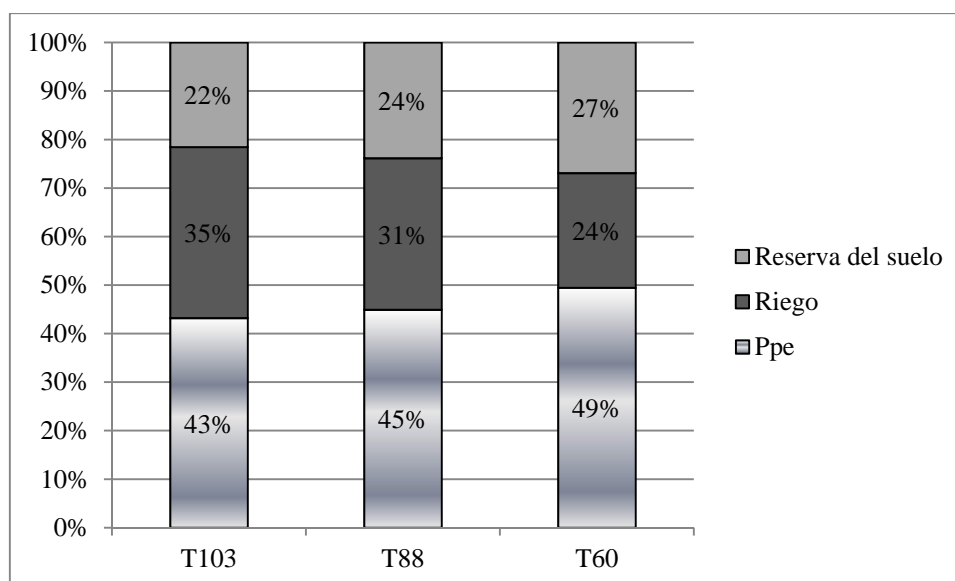


Figura 10. . Porcentaje de la evapotranspiración real del cultivo (ET_{caj}), suplida por la precipitación efectiva, el riego y la reserva de agua del suelo, para cada tratamiento.

Figure 10. Real evapotranspiration (ET_{caj}) (%) in the entire crop season supplied by effective rainfall, irrigation and soil water reservation for each of the irrigation treatments.

5. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO.

Los resultados del análisis de calidad de agua se presentan en la Tabla 5. De acuerdo con Wainstein el agua de riego corresponde a la clasificación C_1S_1 , (citado por Avellaneda *et al.* 2004); es decir de bajo peligro salino y sódico para los suelos (ver Tabla 25 del Anexo)

Tabla 5. Resultado del análisis de agua.

Table 5. Irrigation water quality analysis results

	pH	CE	Na	K	Ca	Mg	CO_3^{-2}	CO_3H^-	Cl^-	SO_4^{2-}
Unidades		$\mu S\ cm^{-1}$	$me\ L^{-1}$	$me\ L^{-1}$	$me\ L^{-1}$	$me\ L^{-1}$	$me\ L^{-1}$	$me\ L^{-1}$	$me\ L^{-1}$	$me\ L^{-1}$
	8,45	48	1,5	0	0,35	0,15	0	0,5	0,25	0

6. EVALUACIÓN DEL RIEGO: CUC, CUD, Ed y $Ea_{1/4}$

El equipo funcionó a 5 atm de presión medida a la salida de la bomba que inyectaba agua a la cañería, 5 atm en la turbina del enrollador y 2,5 atm de presión a la salida del aspersor. En estas condiciones el motor del equipo de bombeo trabajaba a 1310 r.p.m.

El caudal de bombeo según la ecuación 19 se calculó en 20 L s^{-1} o su equivalente, $72 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

En la Tabla 6 se presentan los coeficientes CUC, CUD, Ed y $Ea_{1/4}$ calculados para cada fecha de riego. Estos resultados caracterizan el desempeño del equipo de riego. Las pruebas de pluviometría necesarios para estos cálculos se realizaron en cada oportunidad de riego (fechas) y en cada tratamiento.

Tabla 6. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidad de Distribución (CUD), Eficiencia de descarga (Ed) y Eficiencia de aplicación del $1/4$ más desfavorecido ($Ea_{1/4}$), para cada tratamiento de riego por fechas de aplicación.

Table 6. Christiansen Uniformity Coefficient (CUC), Distribution Uniformity Coefficient (CUD), discharge efficiency (Ed) and application efficiency of $1/4$ of the catch containers with less water collected ($Ea_{1/4}$), for each treatment and during irrigation dates.

Lámina de riego	T_{60}				T_{88}				T_{103}			
Fecha de riego	CUC	CUD	Ed	$Ea_{1/4}$	CUC	CUD	Ed	$Ea_{1/4}$	CUC	CUD	Ed	$Ea_{1/4}$
06/01/2012	69,6	67,3	85,2	50,0	73,9	53,7	92,3	50,5	73,7	62,2	87,2	53,3
13/01/2012	80,7	54,8	87,5	51,3	72,6	59,4	85,4	53,2	65,0	65,0	87,1	51,0
20/01/2012	59,9	53,0	83,0	40,2	76,6	66,1	92,8	60,8	64,9	54,3	87,0	43,1
26/01/2012	sd	sd	sd	sd	83,8	78,7	85,1	64,0	76,3	51,2	81,3	45,9
Promedio	70,1	58,4	85,2	47,2	76,7	64,5	88,9	57,1	70,0	58,2	85,6	48,3
Desviación estándar	10,4	7,8	2,3	6,1	5,0	10,8	4,2	6,3	5,9	6,5	2,9	4,6
CV (%)	15%	13%	3%	13%	6%	17%	5%	11%	8%	11%	3%	10%

La Figura 11 ilustra los datos de variación del CUC y del CUD en función del viento, cuando esta variable pudo ser adecuadamente medida durante el ensayo. Se observa que los valores de CUD se mantienen por debajo de los de CUC y también que las uniformidades de aplicación son mayores cuando la velocidad del viento es inferior a $3,5 \text{ km h}^{-1}$.

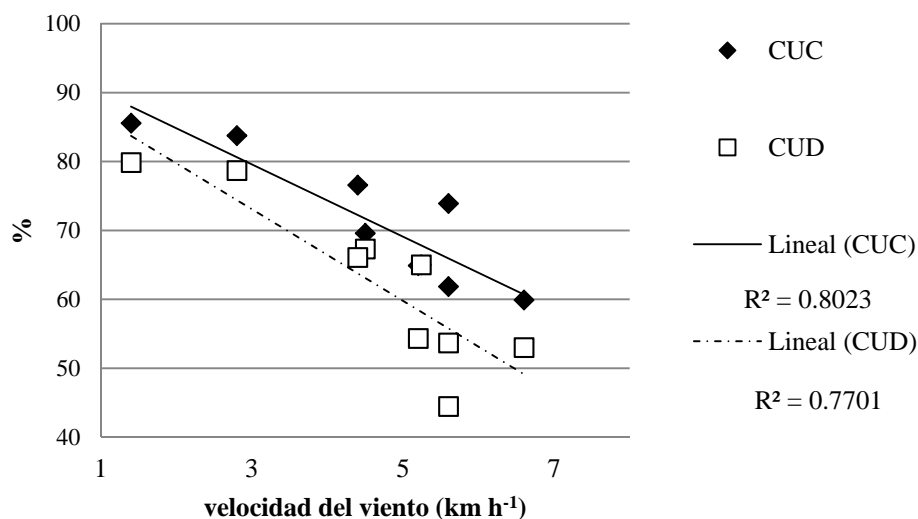


Figura 11. Variación de los coeficientes de uniformidad y de distribución en función de la velocidad media del viento

Figure 11. CUC and CUD variability vs. wind speed.

7. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO

La Figura 12 muestra el resultado del balance hídrico del suelo por tratamiento respecto al contenido medio de agua de suelo (rombos blancos). Las tablas a partir de las cuales se construyó dicha figura pueden consultarse en el Anexo (Tablas 21, 22 y 23).

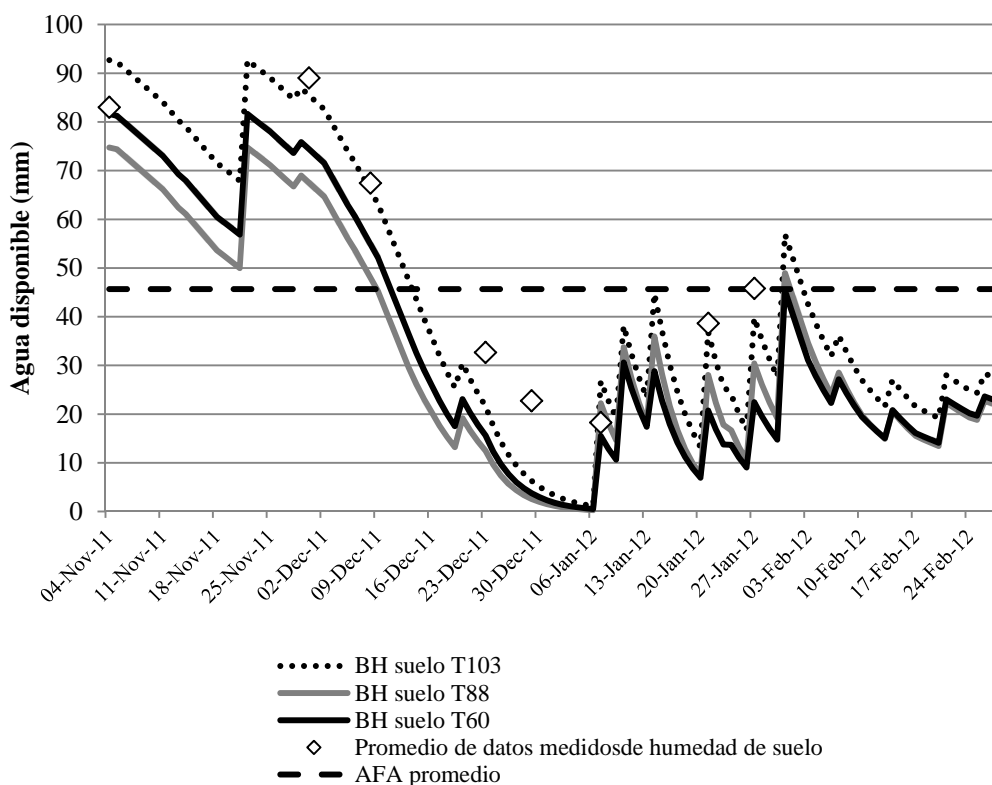


Figura 12. Balance hídrico simulado por tratamiento para los 60 cm de suelo considerados en el estudio. Los puntos representan el contenido de humedad del suelo medido a campo.

Figure 12. 60 cm soil water content simulation for each treatment. Dots represent the soil water content sampled in field.

8. FORRAJE

8.1. Rendimiento de forraje (kg MS ha⁻¹)

El ANOVA del rendimiento en materia seca (MS) evidenció diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha = 0,1$) ($F_{(2; 4)} = 6,33$, $p = 0,057$) (las diferencias son significativas si el valor p es inferior al valor de α (alfa)). El tratamiento T₁₀₃ produjo 12.821 kg MS ha⁻¹, aproximadamente un 33 % más de los otros dos tratamientos. La Figura 13 presenta los resultados de kg MS ha⁻¹ entre tratamientos.

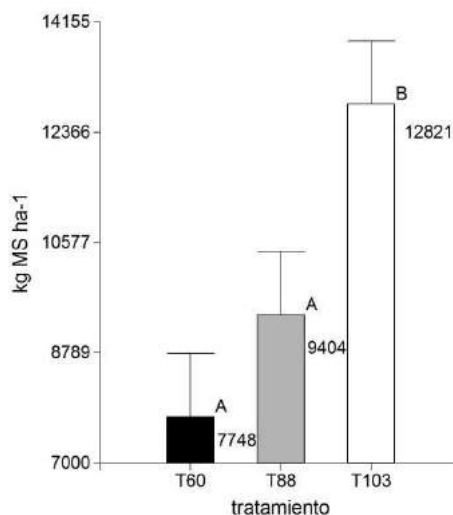


Figura 13. Producción de forraje (kg MS ha⁻¹) por tratamiento de riego.

Figure 13. Dry matter yield (kg MS ha⁻¹) per treatment.

La prueba de distribución normal de los residuos del error de la variable respuesta (kg MS ha⁻¹) analizados a través de Shapiro-Wilks modificado arrojó un valor $p = 0,9505$. La homocedasticidad de las varianzas se evaluó por medio de un ANOVA sobre los valores absolutos de los residuos del error con una sola vía de clasificación (tratamiento). En este caso el valor de p fue 0,528. En ambos caso se aceptó la hipótesis nula, concluyendo que los residuos tienen distribución normal y las varianzas son homogéneas (las diferencias no son significativas si el valor p es superior al valor de α (alfa) = 0,1)

La Figura 14 muestra la relación entre la variable MS ha⁻¹ respecto a la ET_{caj} calculada a través del balance hídrico del suelo. Los resultados indican una relación lineal positiva entre los kg MS ha⁻¹ y la ET_{caj} ($p = 0,0303$) (InfoStat, Di Rienzo, 2010), siendo la ecuación del modelo ajustado:

$$MS \text{ ha}^{-1} = 97,09 \times Et_{caj} - 11.055,52 \quad R^2 = 0,51$$

(fecha: temporada 2011 / 12)

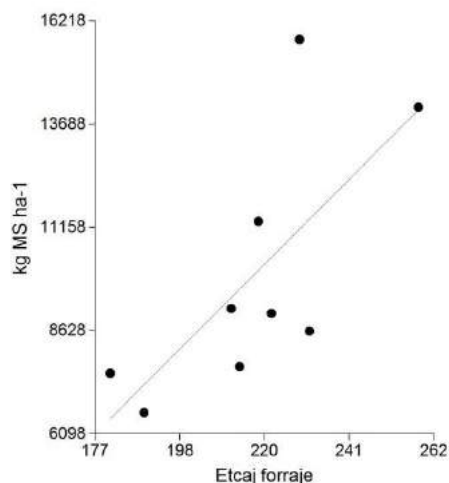


Figura 14. Variación de la producción de MS ha⁻¹ en función de la evapotranspiración real del cultivo (ET_{caj})

Figure 14. Dry matter production as a function of the adjusted crop evapotranspiration (ET_{caj})

El análisis de los residuos de la regresión indica que el punto más elevado respecto al eje de ordenadas es dos veces el valor de los residuales estudentizados, evidenciando la influencia de este dato sobre el ajuste de la regresión. Sin embargo se decidió no eliminarlo del análisis para conservar la veracidad de los datos del presente trabajo de investigación.

8.2. Calidad de forraje

Los resultados del ANOVA de los parámetros de calidad proporcionados por el laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Cuyo no presentaron diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha = 0,1$) (Tabla 7).

Recordar que si el valor de p es mayor al valor considerado de alfa ($\alpha = 0,1$), las diferencias no son significativas.

Tabla 7. Valores de F y p del ANOVA para las variables de calidad ($\alpha = 0,1$)Table 7. ANOVA's F and p values for forage quality tasks ($\alpha= 0.1$).

	% humedad	% de cenizas	PB (%)	% de grasas	% de fibras
F _(2; 4)	1,91	1,94	3,93	3,35	0,85
p	0,26	0,26	0,11	0,14	0,49

	ELN	EM	FDN	FDA	DIVMS (%)
F _(2; 4)	2,4	1,43	0,41	0,13	0,13
p	0,21	0,34	0,69	0,88	0,88

Los resultados de calidad de forraje entre tratamientos se presentan en manera ordenada en la Tabla 8.

Tabla 8. Efecto del tratamiento de riego sobre los parámetros de calidad de forraje. Nota: medias con una letra común no son significativamente diferentes.

Table 8. Treatment effects in the dry matter forage quality. Note: At least one letter in common mean no significant statistic differences.

	% humedad	% ceniza	% PB	% grasas	% fibra
T ₆₀	6,24 a	6,78 a	7,32 a	3,55 a	27,27 a
T ₈₈	5,99 a	6,87 a	9,06 a	3,77 a	28,09 a
T ₁₀₃	5,86 a	7,02 a	7,9 a	3,27 a	28,87 a

	ELN	EM (Mcal kg MS⁻¹)	FDN	FDA	DVMS (%)
T ₆₀	55,08 a	2,54 a	63,80 a	33,28 a	62,97 a
T ₈₈	52,21 a	2,53 a	63,58 a	32,95 a	63,78 a
T ₁₀₃	52,94 a	2,46 a	60,82 a	32,95 a	63,23 a

En la prueba de distribución normal de los residuos del error de las variables respuesta y en el test de homocedasticidad de las varianzas, los valores de p fueron mayores al valor de alfa considerado ($\alpha = 0,1$). Los valores p de los test para las variables de calidad de forraje pueden consultarse en el Anexo (Tabla 26). En ambos casos se aceptó la hipótesis nula, concluyendo que los residuos tienen distribución normal y las varianzas son homogéneas.

9. GRANO

9.1. Rendimiento de grano

Los resultados de rendimiento en grano no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha = 0,1$) ($F_{(2;4)} = 0,45$, $p = 0,6656$) (Figura 15). El tratamiento T₁₀₃ produjo 350 y 375 kg grano ha⁻¹ por sobre los tratamientos T₆₀ y T₈₈ respectivamente, que no pudieron ser explicados por diferencias estadísticamente significativas.

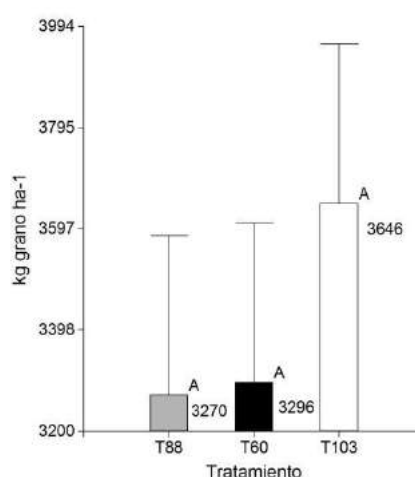


Figura 15. Rendimiento en grano (kg grano ha⁻¹) según el tratamiento de riego recibido.

Figure 15. Grain yield (kg grain ha⁻¹) according to irrigation treatment.

9.2. Peso de 1000 semillas

El gráfico de salida del ANOVA mostró una tendencia en el peso de 1000 semillas expresada a través de la diferencia entre letras para los distintos tratamientos. Sin embargo, el valor p del modelo analizado ($F_{(2;4)} = 3,42$, $p = 0,136$) fue mayor al nivel de significancia empleado ($\alpha = 0,1$), indicando que no existieron diferencias estadísticamente significativas que comprueben y confirmen la tendencia.

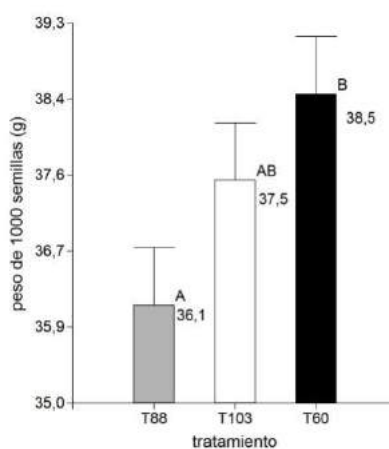


Figura 16. Peso de 1000 semillas (g) según el tratamiento de riego recibido.

Figure 16. 1000 kernel weight (g) according to the irrigation treatment received.

9.3. Número de granos

El n° de granos tampoco mostró diferencias significativas entre tratamientos, ($\alpha = 0,1$) ($F_{(2;4)} = 0,48$, $p = 0,6524$) (Figura 17).

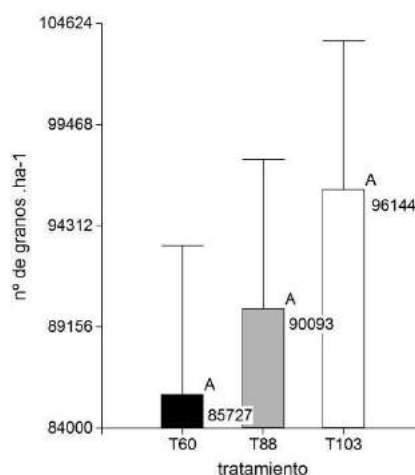


Figura 17. Nº de granos ha⁻¹ según el tratamiento de riego recibido.

Figure 17. Grain number (nº granos ha⁻¹) according to irrigation treatment.

El valor p de la prueba de distribución normal (Shapiro-Wilks modificado) y la homocedasticidad de la varianza para la comprobación de los supuestos del ANOVA para las tres variables respuesta (kg grano ha⁻¹, peso de 1000 semillas y nº de granos ha⁻¹) puede consultarse en la Tabla 27 del Anexo. En todos los casos, los resultados llevaron a aceptar la hipótesis nula, concluyendo que los residuos tienen distribución normal y las varianzas son homogéneas (las diferencias no son significativas si el valor p es superior al valor de α (alfa) = 0,1)

El análisis de regresión simple para el rendimiento en grano respecto a la ET_{caj} (Figura 18) no evidenció la existencia de una relación lineal entre rendimiento de grano y ET_{caj} ($R^2 = 0,14$) ni tampoco la significancia de la ET_{caj} en la generación del rendimiento ($\alpha = 0,1$) ($p = 0,3287$).

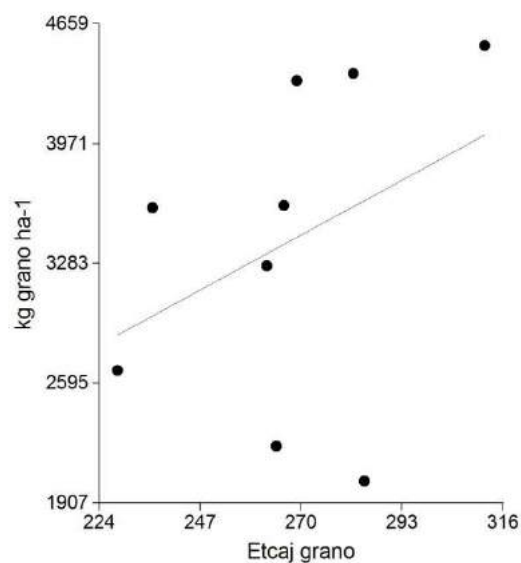


Figura 18. Variación de la producción de grano (kg ha^{-1}) en función de la evapotranspiración real del cultivo (ET_{caj})

Figure 18. Grain yield (kg ha^{-1}) as a function of the adjusted crop evapotranspiration (ET_{caj})

10. EUA

En el análisis estadístico indicó diferencias estadísticamente significativas para la EUA de forraje ($\alpha = 0,1$) ($F_{\text{EUA forraje (2,4)}} = 7,25$, $p = 0,0467$) (Tabla 9).

Por su parte, la EUA de grano, no mostró diferencias significativas entre tratamientos ($\alpha = 0,1$) ($F_{\text{EUA grano (2,4)}} = 0,14$, $p = 0,877$) (Tabla 9).

Tabla 9. Valores de EUA de avena para Esquel –Chubut

Table 9. Oat WUE values for Esquel - Chubut

EUA	T_{103}	T_{88}	T_{60}
Forraje(kg m^{-3})	5 b	3,6 a	2,9 a
Grano(kg m^{-3})	1,4 a	1,4 a	1,4 a

11. E_I

El análisis estadístico de la eficiencia de uso del agua de riego (E_I) no detectó diferencias significativas en los valores de E_I de forraje ($\alpha = 0,1$) ($F_{EI \text{ forraje } (2,4)} = 1,19$, $p = 0,3939$) (Tabla 10).

En cambio, existieron diferencias significativas en la E_I de grano entre tratamientos a favor de T_{60} (Tabla 10) ($\alpha = 0,1$) ($F_{EI \text{ grano } (2,4)} = 18,45$, $p = 0,0096$).

Tabla 10. Valores de E_I de avena para Esquel –Chubut

Table 10. Oat E_I values for Esquel - Chubut

E_I	T_{103}	T_{88}	T_{60}
Forraje(kg m^{-3})	12,4 a	10,7 a	12,8 a
grano(kg m^{-3})	3,5 a	3,7 a	5,4 b

La E_I de grano del tratamiento de lámina baja fue mayor respecto a los otros dos tratamientos evidenciando la tendencia de a menor lámina de riego, mayor valor de E_I .

DISCUSIÓN

1. IMPLANTACIÓN DEL CULTIVO (plantas m²)

Considerando un valor cultural² de la semilla del 70 %, un coeficiente de logro³ del 60 %, y un peso de de 32 g para 1000 semillas de avena (Vernet, 1995), era esperable una densidad de 130 plantas m⁻². De esta manera la cantidad de plantas logradas m⁻² resultó un 4 % y un 8 % inferior a lo esperado en el bloque I y bloque III respectivamente. Estos resultados se le atribuyeron a fallas a la siembra, donde las semillas quedaron en la superficie y no entraron en contacto con la humedad del suelo. La cantidad de plantas logradas en el bloque II en cambio, se consideró satisfactorio.

Por otra parte al no existir diferencias significativas entre la cantidad de plantas logradas m⁻² entre parcelas de un mismo bloque, se descarta la influencia de este parámetro como condicionante de los resultados de rendimiento entre tratamientos. Dentro de cada bloque el efecto de los tratamientos fue el mismo, cumpliendo con los supuestos que soportan el modelo (ver “Análisis estadístico”, página 58).

2. FENOLOGÍA DEL CULTIVO

Los datos registrados a campo (Tabla 2) coinciden en período pre –anthesis con la fecha estimada a través de los datos de TT proporcionados por Peltonen – Sainio & Rajala (2007) (Tabla 13 del Anexo). La etapa de llenado de grano resultó 30 días más larga que la duración propuesta por los mismos autores. Cabe destacar que los

² Ver el Glosario

³ Ver el Glosario.

ensayos de Peltonen – Sainio & Rajala (2007) se plantearon a una latitud de 60°, donde resulta esencial la madurez precoz del cultivo para asegurar la cosecha por las condiciones locales de producción propias del Norte de Europa. La prolongación del ciclo, considerando desde la siembra hasta la madurez fisiológica del cultivo está fuertemente asociada con la duración del período del llenado de granos. La duración del período de llenado de grano es independiente de la etapa pre – antesis. Es decir, la duración del llenado de grano no está controlado ni determinado por el desarrollo y crecimiento que tiene lugar durante el período de pre – antesis (Peltonen – Sainio & Rajala 2007).

Desde el punto de vista práctico, los datos de TT correspondientes al período de pre – antesis aportados por Peltonen – Sainio & Rajala (2007) resultaron útiles para poder estimar el momento de la etapa crítica del cultivo (20 días pre – floración y 10 días post floración (Slafer *et al.* 2003)). Localizar la ventana de días críticos para los cultivos es fundamental para evitar, en la medida de lo posible, la ocurrencia de factores de estrés (heladas, déficits hídricos, etc.) que son determinantes en el rendimiento de un cultivo.

3. DEMANDA HÍDRICA DEL CULTIVO

De acuerdo a las condiciones locales de producción, el cultivo analizado en el ensayo demandó 370 mm de agua en toda la temporada (Tabla 4). Estos valores, concuerdan con el rango de evapotranspiración del cultivo de trigo según Steduto *et al.* (2012). No obstante ello sería pertinente comparar este dato con localidades de radiación neta similar (Dardanelli *et al.* 2003). Por otra parte, se referenció el ET_c al cultivo de trigo por su similitud fisiológica con el cultivo de avena, aunque claro está, se tratan de especies diferentes. Dardanelli *et al.* (2003) atribuyen las diferencias en el consumo de agua para un mismo cultivo al déficit de presión de vapor (DPV) como variable meteorológica que genera diferencias entre localidades. Definen el DPV como la diferencia entre la presión de vapor del aire saturado en la cavidad subestomática y la presión de vapor del aire normalmente insaturado sobre el

dosel. El DPV depende de la temperatura y la humedad relativa y tiene una relación directa con el flujo transpiratorio.

Desde el punto de vista del aporte del riego, precipitación y agua en la reserva del suelo, el cultivo se enfrentó a condiciones de estrés hídrico en los tres tratamientos (ver figuras 9 y 12). También se refleja la pequeña fracción aportada por el riego. En la figura 10 en cambio, se aprecia cómo el cultivo bajo el T₆₀ dependió mucho más del aporte de la reserva del suelo y las precipitaciones que del aporte del riego, y cómo el cultivo se independizaría de la reserva del suelo y precipitaciones cuando aumenta la fracción aportada por riego (T₁₀₃).

Según Shanahan & Dillon (1995) en su trabajo realizado en la Universidad de Colorado, mencionan requerimientos hídricos comprendidos entre 300 y 460 mm como evapotranspiración anual para este cultivo (entre 37° y 41° Latitud Norte). Los valores hallados en este trabajo se encuentran cercanos al límite superior, lo que podría deberse a la frecuencia y magnitud de los vientos de la zona.

4. CUC , CUD, Ed y Ea_{1/4}

Keller & Bliesner (1990 c) adaptaron la tabla desarrollada por Hart & Reynolds en 1965 (Tabla 24 del Anexo), para interpretar los valores de CUC obtenidos de las evaluaciones a campo.

Considerando aceptable que un 80 % de la superficie quede correctamente regada, la tabla indicaría que al menos el 68 % de la lámina media de los tratamientos T₆₀ y T₁₀₃ fue lo que verdaderamente se aplicó en esa superficie bajo riego. En T₈₈, con un valor de CUC del 77 %, el 80 % de la superficie recibió el 75 % de la lámina media aplicada.

Por otra parte, los valores calculados de CUD deberían aproximarse a los valores correspondientes al 90 % de la superficie correctamente regada de la misma tabla (Keller & Bliesner 1990 c). Con el CUD se verifica la uniformidad de distribución de agua en el ¼ de sitios más desfavorable. De acuerdo a la Tabla 24 del Anexo, en el 25 % de los sitios con menor pluviometría la lámina debió ser

aproximadamente el 52 % de las láminas medias aplicadas de los tratamientos T_{60} , y T_{103} y el 61 % en el tratamiento T_{88} . Aunque los datos obtenidos (ver Tabla 6) están un poco por encima de estos valores, la aproximación a los valores de tabla desarrollados por Keller & Bliesner (1990 c) corroboran los cálculos efectuados.

La Ed pone en evidencia cuánto de la lámina erogada por la boquilla del cañón alcanzó el suelo. La diferencia entre ambas láminas suele atribuírsele a pérdidas por evaporación, arrastre por parte del viento (deriva) e intercepción por el cultivo (Pascual España 2008 b). En el caso del presente ensayo las pérdidas significaron un 15 %, 11 % y 14 % de las láminas aplicadas de T_{60} , T_{88} y T_{103} respectivamente.

La Figura 11 ilustra la conveniencia de efectuar los riegos con este tipo de sistemas de aspersión en condiciones de viento menores a 3 km h^{-1} , para lograr una mayor uniformidad de distribución y en consecuencia valores más altos de CUC y CUD.

La información aportada por la eficiencia de aplicación en el $\frac{1}{4}$ de los colectores que recogieron menos agua ($Ea_{\frac{1}{4}}$), evidenció que aproximadamente el 50% de la lámina alcanzó estos sitios. Por su parte, Keller & Bliesner (1990 d) establecieron valores de $Ea_{\frac{1}{4}}$ de 67 -55 %, con lo cual los valores registrados resultaron sensiblemente menores a los valores de referencia propuestos.

5. BALANCE HÍDRICO DEL SUELO

El promedio de datos muestreados de humedad de suelo de la Figura 12 acompañó el patrón del balance hídrico simulado. El balance hídrico evidenció un cultivo creciendo bajo condiciones de estrés hídrico desde mediados de diciembre hasta principios de enero aproximadamente, momento en el cual hubo precipitaciones que aportaron 25 mm además del agua proporcionada por riego. El contenido hídrico del suelo fue incrementándose hasta fines de enero, con un efecto positivo en la producción de forraje, aunque demasiado tarde para ver su efecto en el

rendimiento de grano (ver apartados 6. Forraje y 7. Rendimiento de Grano de esta misma sección).

6. FORRAJE

6.1. Rendimiento:

El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre tratamientos. A pesar que se corroboró la homogeneidad de la varianza, las barras de error estándar indican una alta dispersión en los datos.

Los resultados obtenidos de rendimiento de forraje en función de la disponibilidad de agua son coincidentes con los resultados obtenidos por varios autores, incluso para otras especies de gramíneas (Al-Kaisi *et al.* 1997; Jensen *et al.* 2001; Kang *et al.* 2002; Phillipp *et al.* 2005; Carmi *et al.* 2006; Rodríguez 2008; Miñón *et al.* 2009; Neal *et al.* 2011). Se obtuvo un gradiente de producción de forraje en función de la cantidad de agua aplicada.

Aparentemente, un número mayor de macollos y área foliar sean los factores principales que expliquen los distintos niveles de producción de forraje entre los tratamientos de la Figura 13 (Peltonen – Sainio & Järvinen (1995); Peltonen Sainio *et al.* (2009), Miralles *et al.* 2011). Si bien normalmente a partir del momento de encañazón y hasta antesis se registra la mayor mortandad de macollos (García del Moral & García del Moral 1995; Slafer *et al.* 2003), hay macollos que sobreviven post – antesis aun cuando no hayan alcanzado el estado reproductivo al mismo tiempo que el vástago principal (García del Moral & García del Moral 1995). Por otra parte, Peltonen – Sainio & Järvinen (1995) y Peltonen Sainio *et al.* (2009) reportan la proliferación de macollos post antesis, en avena sobre todo si el cultivo estuvo expuesto a condiciones de sequía durante la primera parte del ciclo (ver Figura 12).

La acumulación de biomasa puede expresarse en asimilación de CO₂, biomasa total del cultivo o rendimiento en grano, mientras que el agua consumida se expresa como transpiración o evapotranspiración. Por otra parte, el crecimiento es producto

de la división y expansión celular. Siendo ambos procesos muy sensibles al estrés hídrico, la ocurrencia del mismo en etapas vegetativas tiene un efecto marcado sobre la expansión foliar y consecuentemente sobre el área foliar del cultivo. El déficit hídrico suele provocar pérdida de turgencia y en consecuencia una disminución en la tasa de crecimiento y un menor tamaño final de los órganos que se encuentran en expansión activa en el momento del estrés. Sin embargo en aquellos órganos diferenciados que aún no habían iniciado su expansión, el crecimiento se recupera casi instantáneamente luego de superado el estrés (Dardanelli *et al.* 2003). Un área foliar mayor significa una mayor intercepción de la radiación, una mayor eficiencia del uso de la radiación y por ende más producción de biomasa (Miralles *et al.* 2011). La cantidad de agua transpirada por un cultivo depende esencialmente de la cantidad de radiación interceptada por su dosel. Con lo cual, existe una la relación directa entre la evapotranspiración, a través de su relación con el crecimiento, la intercepción de la radiación, el intercambio gaseoso y la fijación del CO₂, con la acumulación de biomasa en donde a más ET_c, más biomasa (Figura 14). La pendiente entre biomasa y ET_c expresa la EUA (Davies, 1994; Asay *et al.* 2002; Dardanelli *et al.* 2003; Li *et al.* 2004; Guttieri *et al.* 2005; Rodriguez, 2008; Behera & Panda, 2009; Li *et al.* 2010).

Los rendimientos logrados superaron los registros de rendimientos medios de avena en secano en la zona de producción del Valle de Trevelin (AER Trevelin 2011). Evaluado en fardos de 25 kg, T₁₀₃ tuvo una diferencia media de 168 fardos ha⁻¹ respecto a los otros dos tratamientos, donde no se encontraron diferencias entre si. De la misma manera los rendimientos obtenidos en el ensayo fueron mayores a los rendimientos de avena var. Máxima registrados por Gallego *et al.* (2009) en condiciones bajo riego del Valle Inferior de Río Negro. El tratamiento de lámina alta alcanzó valores similares de producción a los registrados por Dumont & Lanuza (1990) producidos en condiciones de secano en el sur de Chile, (Osorno, 40,5° Latitud Sur; 73,13° Longitud Oeste; www.tutiempo.net/clima/OSORNO/857820.html) aunque con mayores densidades de siembra (120 kg semilla ha⁻¹) y una Pp natural de 238,25 mm durante esa temporada.

Desde el punto de vista de la producción de forraje, para Fan *et al.* (2005) el momento ideal para aplicar el riego hubiera sido a mediados de diciembre, cuando el cultivo se encontraba en la etapa de macollaje y próximo a encañar.

6.2. Calidad:

Los resultados de los análisis de calidad de forraje no presentan diferencias estadísticamente significativas. Esta falta de diferencias podría atribuírsele a que láminas ensayadas no resultaron lo suficientemente contrastantes para reflejar el efecto de los tratamientos en la calidad de forraje.

Por su parte el contenido de PB y la EM kg MS⁻¹ obtenido en los tres tratamientos del ensayo están por encima de los valores medios de calidad registrados por la AER Trevelin (2011) para la zona. Los motivos de estas diferencias pueden ser varios, entre las que tienen una alta incidencia la variedad empleada, el año climático, fecha de siembra, manejo (De la Vega & De la Fuente 2003; Gallego *et al.* 2011) y el momento de cosecha (Dumont & Lanuza 1990; Contreras – Govea & albrecht 2006; Squella & Ormeño 2007). Los datos reportados por Squella & Ormeño (2007) de avena sembrada en la zona sur de Chile (Osorno, 43,5° Latitud Sur; 73,13° Longitud Oeste) presentaron valores similares de EM kg MS⁻¹ pero notablemente inferiores en contenido de PB.

Según Di Marco (2011) un forraje es de alta calidad, cuando tiene aproximadamente un 70 % de digestibilidad in vitro de la MS (DIVMS), menos de un 50 % de FDN y más de 15 % de PB. Por el contrario, un forraje es de mala calidad cuando tiene por debajo de un 50 % de DIVMS, más de un 65 % de FDN y por debajo de 8 % de PB. De acuerdo a este autor, la calidad del forraje de avena obtenido es media – baja, aunque también es cierto que la avena en sí misma no se destaca por ser un forraje rico en proteínas cuando cosechado para heno. El contenido de PB de heno de avena según las tablas de composición de alimentos para rumiantes, se encuentra alrededor del 6 % (Jaurena & Danelon, 2001).

El requerimiento de PB varía entre un 9–15 % en función de la categoría bovina y del planteo productivo considerado (Pordomingo 2005). En el caso del tratamiento T₈₈, el contenido de PB y EM kg MS⁻¹ sería adecuado para animales de categoría adulta en mantenimiento, no lactando ni gestando (Raso 2013, comunicación personal).

7. RENDIMIENTO DE GRANO

Los resultados estadísticos entre tratamientos no fueron contundentes en los rendimientos de grano obtenidos. Las barras de error estándar indican una alta dispersión en los datos recolectados. Es posible que además de la falta de láminas más contrastantes entre tratamientos, para rendimiento en grano tenga mayor relevancia el momento fenológico en que se aplicaron los riegos.

El efecto del riego en las distintas etapas fenológicas del cultivo sobre el rendimiento en grano se encuentra ampliamente documentado (Doorenbos & Kassan 1979; Oweis *et al.* 1999; Egli 2004; Li *et al.* 2004; Fan *et al.* 2005; Li *et al.* 2005; Passioura 2006; Sezen & Yazar 2006; Zhang *et al.* 2006; Ali *et al.* 2007; Qureshi & Neibling 2009; Han *et al.*, 2010; Lin *et al.* 2012).

Varios autores destacan el papel clave de la disponibilidad hídrica para los cultivos durante los períodos fenológicos determinados identificados como “críticos”. En dicho período el efecto del riego se reflejaría en recursos suficientes para promover una mayor proliferación del número final de flores fértiles por espiguilla y extender al máximo posible el período de llenado de granos (Slafer *et al.* 2003; Li *et al.* 2004; Peltonen – Sainio & Rajala 2007; Ucan & Killi, 2010).

La disponibilidad de agua para el cultivo durante estos períodos [períodos críticos] sería determinante del rendimiento final tanto de materia seca como de grano (Al-Kaisi *et al.* 1997; Jensen *et al.* 2001).

Los rendimientos en grano cosechados en el presente ensayo resultaron superiores a los 1.400 kg grano ha⁻¹ registrados en el Valle 16 de Octubre por la AER Trevelin (2011).

Por su parte, la Figura 18 no evidencia la relación existente entre ET_c y kg grano ha^{-1} reafirmando la falta de diferencias significativas entre tratamientos de riego. Esto podría deberse a que la disponibilidad de agua en los tres tratamientos no fue lo suficientemente diferenciada, poniendo de manifiesto la importancia de disponer de un buen estado hídrico en el suelo tanto en vaina engrosada (García del Moral *et al.* 2003; Geerts & Raes 2009; Qureshi & Neibling 2009; Sezen & Yazar 2006) como durante el llenado de granos (García del Moral *et al.* 2003; Li *et al.* 2005; Albrizio *et al.* 2010; Doorenbos & Kassam 1979). La aplicación de riego a partir del estado fenológico de espigazón probablemente logró mejorar la sobrevivencia de los granos post-cuajado (tendencia que se observa en la Figura 17), aunque no fue suficiente para asegurar una mayor cantidad de flores fértiles que marquen una diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos. Resultados similares fueron reportados por Ali *et al.* (2007).

8. EUA

A simple vista, los valores de EUA de forraje son crecientes conforme se incrementa la lámina aplicada, evidenciando que el cultivo no presentó limitaciones de N ni de P (Li *et al.* 2004; Behera & Panda, 2009).

En las comparaciones de EUA de forraje (kg MS ha^{-1}), los valores obtenidos fueron superiores a los reportados por Neal *et al.* (2011) para avena en Australia ($34^{\circ} 3'S$; $150^{\circ} 39'E$).

De acuerdo con Davies (1994), Dardanelli *et al.* (2003), Rodríguez (2008) y Li *et al.* (2010), se verificó la relación positiva entre riego y EUA de forraje es decir, en condiciones no restrictivas de N ni de P, a más riego, mayores valores finales de este parámetro.

Dardanelli *et al.* (2003) presentan resultados positivos del efecto de la fertilización nitrogenada sobre la EUA en un cultivo de trigo tanto en seco como bajo riego. La mayor cantidad de la biomasa total producida resultó en una mayor capacidad fotosintética del cultivo, mayor eficiencia en el uso de la radiación, y por

consiguiente en mejoras en los rendimientos. Li *et al.* (2010) demuestran en sus investigaciones en trigo que la EUA se ve incrementada cuando existe un efecto conjunto de ambos factores (agua y nitrógeno) por su efecto positivo en el incremento de la biomasa de raíces. Rostamza *et al.* (2011) demuestran la interacción positiva entre el tratamiento que cubría la totalidad de los requerimientos hídricos del cultivo en combinación con fertilización nitrogenada con los mayores valores de EUA registrados en su ensayo. Ali & Talukder (2008) en su revisión de cómo incrementar la productividad del agua también reportan el efecto positivo conjunto entre riego y fertilización en una experiencia en trigo. En coincidencia con Behera & Panda (2009) y Li *et al.* (2010) se lo atribuye a una mayor disponibilidad de recursos para la exploración radical del perfil y en consecuencia la posibilidad de extraer agua de zonas más profundas. Garabet *et al.* (1998) y Li *et al.* (2004) indican en el cultivo de trigo relaciones positivas entre ambos factores (agua y nitrógeno) en cuanto a EUA y rendimiento (Guttieri *et al.* 2005).

No se registraron diferencias en la EUA en grano, probablemente a raíz de la falta de brechas mayores entre tratamientos de riego que generen rendimientos de grano contrastantes.

A raíz de la falta de valores publicados de EUA en grano para avena, se compararon dichos valores con los reportados para trigo, cebada y triticale por su similitud en el tipo de cultivo. Los valores de EUA para el rendimiento en grano en los tres tratamientos fueron mayores que los registrados por Doorenbos & Kasam (1979), Oweis *et al.* (1999), dentro del rango que presentan Zwart & Bastiaansen (2004); Sezen & Yazar (2006); y menores a los publicados por Steduto *et al.* (2012) en trigo. También son menores que los registrados por Bonachela *et al.* (1995) para cebada y triticale en grano y doble propósito (forraje y grano).

9. E_I

La tendencia de “a menor lámina, mayor E_I ” es coincidente con las tendencias registradas por Sepaskhah & Ghahraman (2004), Qureshi & Neibling (2009) y Neal *et al.* (2011) para grano. En las condiciones de ensayo (riegos a partir de espigazón) una reducción en la lámina no generó pérdidas significativas en el rendimiento pero incrementó la eficiencia del uso de agua de riego. Siendo que los resultados de rendimiento no revelaron diferencias estadísticas entre sí (Figura 15), al dividir valores de rendimiento muy similares por distintas láminas de riego (60, 88 y 103 mm) el tratamiento con menor cantidad de agua (T_{60}) fue más eficiente en convertir la disponibilidad de recurso (agua de riego) en biomasa.

En forraje, la productividad aumentó conforme a la disponibilidad de agua (Figura 13). Sin limitaciones de nitrógeno ni de fósforo corroboradas a través de la EUA (Tabla 9), el aprovechamiento del agua aplicada por riego se perfiló relativamente proporcional al incremento en la materia seca y probablemente sea por ello que no se aprecien diferencias en la E_I de forraje (kg MS m^{-3}).

Fan *et al.* (2005) encontraron valores de E_I para grano de trigo (por su similitud con la avena) mayores al tratamiento T_{60} , donde probablemente la diferencia sea el momento fenológico en el cual aplicó el riego y la eficiencia con que el cultivo hizo el aprovechamiento del recurso (Li *et al.* 2005).

CONCLUSIONES

Los resultados de la presente investigación permitieron documentar el efecto de tres láminas de riego aplicadas bajo la estrategia de riego deficitario sobre la producción de forraje. No obstante no se evidenciaron los mismos efectos sobre el rendimiento en grano, como así tampoco diferencias en la calidad del forraje. Si bien el momento o estado fenológico es importante para ambos tipos de rendimientos, el rendimiento en forraje pareciera tener una respuesta más plástica al riego que el rendimiento en grano.

Dicho de otra manera, y en concordancia con la bibliografía revisada, la producción de grano es comparativamente más sensible a la disponibilidad de agua en los períodos críticos que la producción de forraje.

A su vez, es posible que tanto “rendimiento de grano” como “calidad de forraje” requiera ensayos con láminas más contrastantes.

En cuanto a la segunda hipótesis, la EUA tuvo una respuesta positiva respecto a la productividad medida en forraje pero no para grano, probablemente a causa de una conjunción entre contraste de láminas aplicadas y momento de aplicación, que no permitieron una respuesta más contundente en los rendimientos de grano. Por lo tanto, en las condiciones bajo ensayo, no fue posible comprobar que la EUA aumenta acorde a la productividad de grano.

La E_I demostró un comportamiento inverso a la EUA en la producción de grano, y no en la de forraje. En este caso, la tercera hipótesis también resultó parcialmente cierta ya que pudo corroborarse sólo en una de las dos variables consideradas. Además coincide con que no hubo diferencias en los rendimientos de grano y las diferencias se resaltan donde la variación entre cocientes es mayor ($E_I T_{103}$ vs $E_I T_{60}$).

Además de los resultados concretos del efecto del riego sobre la producción y calidad de un cultivo ampliamente difundido en la zona, este trabajo muestra datos

concretos del desempeño de un equipo enrollador provisto de un aspersor de tipo cañón y la incidencia del viento sobre los coeficientes de uniformidad y distribución. El balance hídrico del suelo y del cultivo expresa claramente la situación real bajo la cual se desarrolló el cultivo y sirve de herramienta gráfica para pensar estrategias tales como utilizar el suelo de reservorio para los momentos críticos del cultivo.

Ciertamente los ensayos de riego con equipos de la magnitud de los enrolladores revisten complicaciones en el manejo y logística para controlar con eficacia su desempeño, además del tamaño de la unidad de ensayo que requieren. Sin embargo representan una aproximación fehaciente a las condiciones de producción locales con el tipo de tecnología actualmente disponible en la zona.

De esta manera se considera que los objetivos fueron alcanzados, generando bases y antecedentes de experiencias concretas a campo de una alternativa posible para mejorar la oferta forrajera invernal de los establecimientos locales.

COMENTARIOS FINALES Y RECOMENDACIONES

Futuros ensayos de riego deficitario deberían contemplar láminas de riego más contrastantes a las ensayadas (por ejemplo 100 % ET del cultivo vs 50 % vs sin riego). A su vez quedó evidenciada la necesidad de aplicar el riego en estados fenológicos más tempranos al ensayo, no solo para generar mayor impacto en las respuestas esperadas sino también para evitar un agotamiento excesivo del agua en el perfil para lo cual se deberá hacer una perfecta logística del riego.

Desde el punto de vista del diseño del ensayo es fundamental incluir una parcela “testigo”, es decir sin riego. En un DBCA como el experimentado en este trabajo, dentro de cada bloque la parcela testigo podría haber sido una franja contigua, longitudinal y transversal a los tratamientos de riego. Asegurando los análisis de suelo y el recuento inicial de densidad de plantas por m², la parcela “testigo” es un tratamiento más (T₀) dentro del ANOVA. De esa manera es posible comparar los resultados de riego respecto a la producción en secano. La variabilidad en los datos de rendimientos amerita contemplar la necesidad de aumentar el número de muestras recolectadas o bien aumentar el tamaño del marco de muestreo a campo, según cuál sea el factor que tenga, en cada caso, más peso.

Los resultados de rendimiento deberían seguir acompañándose con análisis de calidad tanto de forraje como de grano para reforzar los efectos del riego sobre las características del material producido.

En los datos de humedad de suelo, además de muestreos secuenciales hasta el momento mismo de la cosecha, sería importante considerar la humedad de suelo exactamente antes y después de cada evento de riego. Evaluar los mm almacenados en el suelo vs los aplicados vs los planificados permitiría conocer la dinámica del

agua en el perfil y hacer los ajustes para mejorar la producción y en pos de un manejo racional del recurso hídrico.

La instalación de pluviómetros fijos a nivel del suelo resultó muy útil a la hora de evaluar la cantidad real de agua llegada al suelo y en este sentido podrían agregarse pluviómetros por encima de la canopia para evaluar la fracción de agua retenida en el mismo follaje.

El recuento de plantas m^{-2} es un dato útil para poder hacer comparativos los rendimientos obtenidos con otros trabajos de una manera objetiva.

Finalmente, sería importante contar con un análisis económico de producir bajo riego. Esto permitiría estimar los beneficios de esta práctica y fortalecer decisiones empresariales y de manejo.

ANEXO

1. CICLO FENOLÓGICO DEL CULTIVO DE AVENA

A continuación se describen brevemente cada una de las etapas morfológicas externas y las internas de mayor relevancia en base al material elaborado por Slafer y colaboradores (2003) para la descripción del cultivo de trigo, por su semejanza en las etapas con el cultivo de avena.

1-siembra – emergencia: Tal como lo indica su nombre, es el período que transcurre entre la fecha de siembra y la aparición de la primera hoja por encima de la superficie de la tierra y a través del coleóptile.

2- pre – macollaje: corresponde a la etapa comprendida entre la emergencia hasta la aparición de aproximadamente la cuarta hoja. Cada hoja emerge desde un falso tallo formado por las vainas de las hojas emergidas con anterioridad.

3 – macollaje: Aproximadamente con la aparición de punta de la cuarta hoja, se produce la emergencia del primer macollo desde la yema axilar de la primera hoja. De esta manera, las hojas siguen apareciendo a través del falso tallo formado por las vainas de las hojas ya emergidas y en alta sincronía con la aparición de macollos. Condiciones de sequía pre anthesis detienen el macollaje (Peltonen – Sainio 2009).

En la morfología interna se produce, en algún momento de la etapa de macollaje la inducción floral. El ápice deja de diferenciar hojas y comienza la



Cultivo encañando(22/12/2011)

diferenciación de primordios de espiguillas, primordios florales o flósculos. El primer cambio visible [bajo la lupa] en el ápice que indica el cambio de vegetativo a reproductivo es el estado denominado “doble lomo”, aunque la iniciación floral habría ocurrido con anterioridad.

El inicio del alargamiento del primer entrenudo pone fin a esta etapa.

4 – encañazón: en esta etapa se produce la elongación de los entrenudos dando origen al “tallo verdadero” y conduciendo a la planta hacia un porte más erecto. A partir del primer entrenudo que se alarga, localizado cerca de la base del tallo, los entrenudos siguientes se elongan en forma creciente. A nivel interno la iniciación de primordios florales continúa hasta lograr el máximo número de primordios florales. Por otra parte, a partir del inicio de encañazón se produce una senescencia progresiva e inversa a la aparición de macollos. Los macollos que no alcanzaron el estado reproductivo senescen, removilizando una parte importante de sus nutrientes y carbohidratos no estructurales hacia los vástagos fértiles.

El período de encañazón incluye la elongación del último entrenudo, el pedúnculo, para producir la emergencia de la espiga y también las últimas hojas. El despliegue de la lámina de la hoja bandera (hoja inmediatamente por debajo de la espiga) coincide con el estado de **vaina engrosada**, donde la espiga está encerrada en la vaina de la hoja bandera. Aproximadamente a partir de ese momento sólo entre el 15 y el 40 % de los primordios florales prosperan hasta producir flores fértiles en floración. El resto de los flósculos degeneran. En ese mismo estado se produce, además, la meiosis de los granos de polen, resultando en un proceso muy sensible al estrés hídrico, altas temperaturas y heladas.



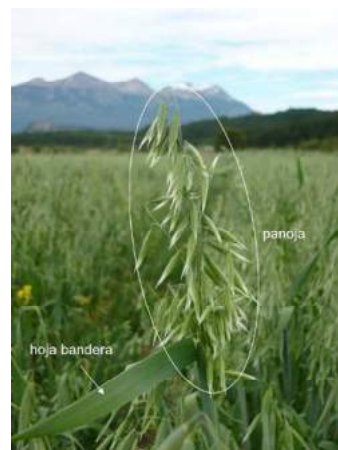
Vaina engrosada(28/12/2011)



Espigazón (04/01/2012)

5 – espigazón: es la emergencia de la espiga (en el caso de la avena, es una panoja (Peltonen – Sainio *et al.* 2007; Sonogo *et al.* 2000), estado inmediatamente anterior a la floración, como primer signo externo que la planta es reproductiva, aunque claro está que la espiga había sido diferenciada mucho antes. A los pocos días de la emergencia de la espiga se produce la autofecundación (especie de polinización autógena a través del mecanismo floral de cleistogamia).

6 – Floración: posterior a la autofecundación aparecen las anteras. La floración se identifica con la antesis, con la emergencia de los estambres por fuera de las espiguillas y comienza la formación de las cubiertas del grano. El período **espigazón - antesis** resulta crítico para la ocurrencia de una helada. En función de esta etapa se determina la fecha de siembra, de manera tal que este período ocurra en un momento donde no haya riesgos de heladas.



Detalle de una planta completamente espigada (07/01/2012)

En el caso del cultivo de avena, la antesis se refiere a la polinización, debido a que no es posible detectar la protuberancia de los estambres (Peltonen – Sainio & Rajala 2007).



Grano lechoso (01/02/2012)

7 – llenado de granos: posterior a la floración y al cuajado, comienza el llenado de granos y se acelera de manera progresiva la senescencia foliar. Se pueden diferenciar dos fases diferentes: la “fase lag”, posterior a la floración donde no se evidencia un crecimiento activo del grano en sí, sino que se produce la formación de las células del endosperma; y la fase de llenado efectivo, donde se reconocen distintos estados. Estos estados son: grano lechoso (cuando al presionar entre los dedos se observa un líquido blanquecino), grano pastoso (bajo presión el grano emite una sustancia pastosa y el grano comienza a perder su tonalidad verdosa y vira hacia el amarillo), grano duro (no se puede romper el grano al presionarlo entre los dedos, aunque se marca fácilmente la uña en el pericarpio) y grano maduro (el grano tiene un color amarillento y no se aplasta bajo la presión de los dedos). Entre **grano lechoso y pastoso**, la cantidad de agua que entra compensa la que se pierde -“plateau hídrico”-, constituyendo la fase crítica del llenado de grano. Un estrés hídrico en esta etapa disminuye la migración de los asimilados hacia el grano afectando el peso final de los mismos.

8 – madurez fisiológica: los granos alcanzan su máximo tamaño y el cultivo no tiene más tejidos verdes, todas las hojas han senescido y los tallos y espigas han amarillado (Slafer *et al.* 2003). Un indicador visual de la madurez fisiológica en avena es la pérdida de color verde de las glumas (Peltonen – Sainio & Rajala 2007; Abeledo *et al.* 2003)

9 – madurez comercial: a partir de madurez fisiológica ocurre una pérdida de agua de los granos. El momento de cosecha se decide en función del contenido de humedad del grano (Slafer *et al.* 2003). En condiciones normales, el cultivo de trigo se cosecha con una humedad de grano del 16 – 18 % de forma que, al finalizar con el proceso de cosecha la humedad corresponda con un 14 % que es el valor de comercialización (Abeledo *et al.* 2003).

De esta manera, se identifican dos etapas críticas en el cultivo: la primera desde encañazón hasta espigazón – antesis, que son 20 días pre – floración y 10 días post floración (Slafer *et al.* 2003). La disponibilidad de agua para el cultivo durante este período sería consistente en la determinación del rendimiento final tanto de materia seca como de grano (Jensen *et al.* 2001; Al-Kaisi *et al.* 1997); y la segunda entre grano lechoso y pastoso, según lo expuesto en la explicación de la etapa de llenado de granos.

Otros autores discriminan más detalladamente los estados fenológicos del cultivo por su sensibilidad al estrés hídrico y su incidencia en el rendimiento final de grano. En la Tabla 11 se presenta esta información de manera resumida. A modo de conclusión, los datos de la Tabla 11 coinciden con los períodos críticos definidos por Slafer *et al.* (2003) de 20 días antes - 10 días después de floración y llenado de granos.

Tabla 11. Períodos críticos para el cultivo de trigo y cebada (por su similitud con el cultivo de avena) definido por diversos autores.

Table 11. Wheat and barley critical grow stages periods because of its similarity with oat as defined by many authors.

Estado ontogénico / etapa fenológica	Autores
finis de macollaje - inicio encañazón	Doorenbos & Kassam (1979)
encañazón	García del Moral <i>et al.</i> (2003); Li <i>et al.</i> (2005); Fan <i>et al.</i> (2005)
estado de bota	García del Moral <i>et al.</i> (2003); Geerts & Raes (2009); Qureshi & Neibling (2009); Sezen & Yazar (2006)
espigazón	Doorenbos & Kassam (1979); Geerts & Raes (2009); Sezen & Yazar (2006)
antesis	García del Moral <i>et al.</i> (2003); Li <i>et al.</i> (2005); Qureshi & Neibling (2009); Albrizio <i>et al.</i> (2010)
llenado de granos	García del Moral <i>et al.</i> (2003); Li <i>et al.</i> (2005); Albrizio <i>et al.</i> (2010); Doorenbos & Kassam (1979)

Aclaración: “estado de bota” es sinónimo de “vaina engrosada” y “antesis” también se identifica con la “floración”.

Nota: las fotografías que acompañan esta sección son de fuente propia, tomadas en el cultivo bajo ensayo.

2. DURACIÓN DE LAS DISTINTAS ETAPAS FENOLÓGICAS EN EL CULTIVO DE AVENA

Basados en la respuesta universal a la temperatura de todos los cultivares y todos los períodos de desarrollo varios autores proponen trabajar con modelos de tiempo térmico (TT). Estos modelos, a través de una ecuación sencilla, relacionan la temperatura base (T_b) con la temperatura media diaria (T_m). De esta manera, estiman la cantidad de °C ocurridos por día (°C d) que son necesarios acumular para que se cumpla una etapa determinada (ecuación 35).

La practicidad de trabajar con modelos de tiempo térmico reside en que se logra independizar de la temperatura a la cual transcurren las distintas etapas. Es necesario destacar que el efecto de la temperatura afecta la tasa de desarrollo (velocidad con la que transcurren eventos de desarrollo determinados por unidad de tiempo), y como consecuencia de este efecto, la duración de las distintas etapas se ve alterada (Miralles *et al.* 2003).

$$TT \text{ (}^\circ\text{C d)} = \Sigma (T_m - T_b) \quad T_m > T_b$$

(ecuación 35)

La temperatura base (T_b) es la temperatura por debajo de la cual no ocurre un proceso determinado (germinación, crecimiento, diferenciación de ápices, hojas, etc). Cada etapa vegetativa y reproductiva tiene una temperatura mínima o base, una temperatura óptima y temperaturas máximas dentro de las cuales pueden desarrollarse (Miralles *et al.* 2003). Cuando en condiciones generales de cultivo se habla de la temperatura base de crecimiento, se hace referencia a la temperatura mínima que debe haber durante todo el ciclo de crecimiento de una especie para que ésta pueda desarrollarse normalmente.

La temperatura base para el cultivo de avena se asume igual a la del trigo, que es 0 °C (Steduto *et al.* 2012, Slafer *et al.* 2003; Sonogo *et al.* 2000). Doorenbos & Kassam (1979) establecen una temperatura de 5 °C para que se registre crecimiento. Peltonen – Sainio & Rajala (2007) proponen una temperatura base de 5 °C a partir

del estado de doble lomo del ápice principal. El estado de doble lomo indica la finalización de la etapa vegetativa y el inicio de la etapa reproductiva o generativa. Este estado es visible solamente bajo la lupa y en avena ocurre alrededor del estado de dos hojas, cuando se han acumulado aproximadamente 150 °C d (Peltonen – Sainio & Rajala 2007).

De acuerdo a la información presentada por Peltonen – Sainio & Rajala (2007) el ciclo total de un cultivo de avena de primavera rondaría los 953 °Cd (Tabla 12).

Tabla 12. Tiempo térmico (TT, °C d) y temperatura base de referencia (Tb, ° C) de las etapas vegetativa, generativa y llenado de granos para cultivares o variedades viejas y nuevas de de avena sembrado en primavera.

Table 12. Termal time and base reference temperature of each vegetative, generative and filling time for new and old spring oat varieties.

Etapa	TT (°C d)		Referencia bibliográfica de TT	Tb (°C)	Referencia bibliográfica de Tb
	cultivares viejos	cultivares nuevos			
Pre-antesis (1 + 2)	472	474	Peltonen - Sainio & Rajala, 2007		
1 -vegetativa	151	150		0 °C	Sonego <i>et al.</i> 2000
2- reproductiva o generativa	321	324		5 °C	Peltonen - Sainio & Rajala, 2007
llenado de granos	499	464			
total	971	938			

Fuente: Material adaptado de Peltonen – Sainio & Rajala (2007) y Sonego *et al.* 2000.

Lin *et al.* (2012) en trigo (por su similitud con el cultivo de avena) considera 15 ° C como la temperatura óptima de crecimiento de la etapa previa al estado de tres hojas. Doorenbos & Kassam (1979) sugieren una temperatura óptima entre 15 – 20 °C para todo el período de macollaje.

Los estudios de fenología normalmente consideran que el cultivo ha conseguido un estado determinado cuando el 50 % de la población muestreada ha alcanzado dicho estado o apenas lo ha superado. La duración de una etapa fenológica queda determinada por el período entre dos estados ontogénicos consecutivos.

De acuerdo a los cálculos, considerando los datos de temperatura media históricos del lugar, la fecha de floración del cultivo de avena en la zona del Campo Experimental de INTA debería ocurrir alrededor del 20 de diciembre.

Las fechas calculadas considerando las temperaturas ocurridas durante el ciclo del cultivo (2011) para las etapas de pre – anthesis (vegetativa y reproductiva o generativa) y llenado de granos según Peltonen – Sainio & Rajala (2007) se presentan en la Tabla 13.

Tabla 13. Fechas estimadas de las etapas fenológicas de acuerdo a los datos de tiempo térmico (TT) propuestos por Peltonen – Sainio & Rajala (2007) para el cultivo de avena en el Campo Experimental Trevelin según datos meteorológicos del 2011/12

Table 13. Estimated pre-anthesis and filling dates according to the oat thermal time (TT) suggested by Peltonen – Sainio & Rajala (2007) for the local rehearse conditions.

etapa	fecha
vegetativa	11/11/2011
reproductiva o generativa	15/12 - 20/12/2011
llenado de granos	24/01 - 27/01/2012

3. RESULTADOS DEL RELEVAMIENTO DE DATOS EDÁFICOS

La Tabla 14 presenta las características del suelo por bloque descriptas a través de las variables analizadas.

Tabla 14. Resumen de los valores medios de suelo muestreados por estrato y bloque.

Table 14. Block medium values per soil stratus of the analyzed parameters.

Bloque	estrato	% MO (Davies)	% N total	C (%)	relac C/N	P disp. mg.kg ⁻¹ (Olsen)	K (me.100 g ⁻¹)	pH (1:1)	CE μS.cm ⁻¹ (1:5)
I	0-20	12,0	5,1	7,0	1,4	4,3	2,0	5,7	376,0
	20-40	8,0	2,9	4,7	1,6	1,0	0,6	5,8	232,0
	40-60	6,2	1,9	3,6	1,9	1,0	0,5	5,9	202,7
II	0-20	11,6	4,3	6,8	2,0	4,3	1,1	5,7	320,7
	20-40	11,9	2,6	6,9	2,8	3,0	0,7	6,1	171,7
	40-60	5,4	1,9	3,1	1,7	3,3	0,3	6,0	191,0
III	0-20	11,8	5,4	6,9	1,3	13,3	1,4	5,8	228,7
	20-40	7,6	3,1	4,4	1,4	5,3	0,9	6,0	165,0
	40-60	6,1	2,1	3,6	1,7	4,3	0,6	6,2	160,3

Bloque	estrato	CIC (me.100 g ⁻¹)	PSI (%)	da (g.cm ⁻³)	cc (% g/g)	PMP (% g/g)	Porosidad total (%)	textura
I	0-20	75,0	7,0	0,8	40,4	19,8	70,8	franco limosa
	20-40	71,3	7,1	0,9	31,8	16,2	67,5	franco limosa
	40-60	49,3	9,1	1,0	29,4	14,4	61,0	franca
II	0-20	95,3	5,4	0,8	40,4	16,7	68,6	franco limosa
	20-40	102,7	4,4	0,9	31,2	18,1	64,8	franco limosa
	40-60	101,0	4,4	1,0	26,8	14,9	61,8	franca
III	0-20	112,0	3,9	0,9	34,7	17,9	66,2	franco limosa
	20-40	98,3	4,2	0,9	28,7	17,4	66,5	franco limosa
	40-60	91,3	4,4	0,9	26,9	14,2	67,9	franca

pH y densidad aparente (da) aumentaron en forma creciente en el sentido de la profundidad, mientras que en MO, % de carbono, % Nt, P, K, CE, cc, PMP, textura, porosidad total, CIC y PSI los valores más altos estuvieron en el estrato superior (0–20 cm) (Tabla 14)

Para el cálculo de requerimientos de fertilización (N:P:K), da, pH, conductividad y constantes hídricas se trabajó promediando los valores por estrato para todo el lote bajo ensayo. Es decir, no se realizó fertilización diferenciada por parcela ni bloque.

La Tabla 15 presenta los valores de K expresados en ppm (1 me K= 39,1 mg).

Tabla 15. Contenido de K en el suelo expresados en me 100 g⁻¹ y en ppm.

Table 15. K soil content in me 100 g⁻¹ and ppm

Estrato de suelo (cm)	K ⁺	
	me 100 g ⁻¹ *	ppm
0-20	1,5	586,5
20-40	0,73	285,4
40-60	0,44	172,0

* promedio por estrato de los datos extraídos de la Tabla 14

3.1 Interpretación y discusión de los resultados del análisis de suelos.

3.1.1 Materia Orgánica (MO)

De acuerdo a Cuesta Muñoz & Villaneda Vivas (2005) los contenidos de MO (%) resultaron altos para el estrato superior y medios para los estratos siguientes.

Los valores encontrados de MO son normales para la zona respondiendo a tasas bajas de mineralización por el tipo de clima donde se llevó a cabo el ensayo. Se puso de manifiesto que el aporte de residuos y su tasa de reciclado son más abundantes en el estrato superior (Picone 2006).

3.1.2. Relación C/N.

Los resultados de la relación C/N del sitio de estudio son: 1,4 en el estrato de 0–20 cm, 1,85 para el estrato 20–40 cm y 1,7 en el más profundo. De acuerdo con Báscones Merino (2004) y Andrades Rodríguez (2012 c) una relación C/N baja como las presentadas, resultaría en una alta mineralización del N del suelo.

De acuerdo al rango de valores propuestos por Báscones Merino (2004), y Andrades Rodríguez (2012 c), la valoración para el sitio en cuestión equivale a una relación C/N baja, indicando que el N presente en el suelo estaría disponible en una alta proporción para la absorción por parte del cultivo.

3.1.3. pH (1:1)

Los valores de pH registrados clasificaron al suelo en “moderadamente ácido” según el criterio establecido por el Soil Quality Institute del Agricultural Research Service – Natural Resources Institute del USDA (2001).

Todos los estratos analizados están dentro de los parámetros de pH propuestos para rendimientos aceptables del cultivo de avena según el Soil Quality Institute (2001). Si bien valores de pH entre 6 y 7,5 son óptimos para el crecimiento de los cultivos en general, el Soil Quality Institute del Agricultural Research Service – Natural Resources Institute del USDA (2001) establece, un rango de pH entre 5,5 y 7 para un desarrollo adecuado del cultivo de avena. Es decir, no se consideró el pH un factor limitante para el cultivo en el suelo del sitio bajo estudio.

3.1.4. Conductividad eléctrica (CE) ($\mu\text{S cm}^{-1}$) (1:5).

Los valores de CE, calificaron al suelo “no salino” de acuerdo al criterio empleado por Andrades Rodríguez (2012)

El Soil Quality Institute del USDA (2001) establece para el cultivo de avena un límite de $800 \mu\text{S.cm}^{-1}$, por encima del cual se comenzarían a registrar mermas en el rendimiento. También podría tomarse como referencia el rango de CE establecido por Doorenbos & Kassam (1979) para el cultivo de trigo por su similitud con el cultivo de avena. Estos autores proponen un rango entre $544,14 - 816,2 \mu\text{S cm}^{-1}$ como límite superior de tolerancia por debajo del cual no hay pérdidas en el rendimiento.

De esta manera, las referencias bibliográficas disponibles no consideran los valores de CE una limitante para un desarrollo adecuado del cultivo de avena en cuestión.

3.1.5. CIC ($\text{me } 100 \text{ g}^{-1}$).

Los valores de CIC resultaron altos de acuerdo a las referencias citadas por Swindale (1969), Tisdale & Nelson (1970), Besoain (1985 a, 1985 b, 1970).

Los valores de CIC que presentan los tres estratos de suelo analizados son altos probablemente en relación a los altos contenidos de materia orgánica (Picone 2006) y presencia de arcillas del tipo de las halositas, imogolitas y alofanos presentes en este tipo de suelos (Swindale 1969; Tisdale & Nelson 1970; Besoain 1985 a, 1985 b, 1970; Buduba 2006; Amico 2010).

3.1.6. PSI (porcentaje de sodio intercambiable)

Los valores de PSI de los tres estratos analizados no superan el valor crítico de 15, con lo cual el sodio (Na^{2+}) no resultaría lo suficientemente abundante en la

solución del suelo como para desplazar los cationes Ca^{2+} y Mg^{2+} y generar una sodificación progresiva del perfil (Cosentino *et al.* 1994 b).

3.1.7. Densidad aparente (da)

La densidad aparente responde a los valores normales reportados por varios autores para suelos derivados de cenizas volcánicas (Ortiz 1976; Colmet Dâage *et al.* 1988; Colmet Dâage 1993; Soil Survey Staff 1999; Dahlgren *et al.* 2004; Tsai *et al.* 2010; Amico 2010; Dörner *et al.* 2012).

3.1.8. Capacidad de campo (cc), punto de marchitez permanente (PMP), disponibilidad de agua en el perfil (DT_{0-60}) y nivel de humedad del suelo al momento de la siembra del cultivo.

Los resultados de humedad expresados en % g/g fueron: 35,6 en el estrato de suelo 0-20 cm, 41 en el estrato 20–40 cm y 38,7 en el estrato 40–60 cm (Tabla 14). A partir de estos valores medios de cc y PMP, se calculó la lámina media total disponible para las plantas (ecuaciones 4 a 6). Los resultados se presentan en la Tabla 16.

Tabla 16. Disponibilidad de agua total (DT_{0-60}) en el perfil de suelo analizado.

Table 16. Total available water content (DT_{0-60}) for plants in the considered soil profile

Estrato de suelo (cm)	dt (mm)
0-20	33,9
20-40	23,5
40-60	25,6
DT_{0-60}	83

La Tabla 17 expresa los valores de humedad a la siembra obtenidos a través de las ecuaciones 23 a 25, comparados con la humedad máxima disponible por estrato (dt).

Tabla 17. Comparación de la humedad de suelo al momento de la siembra respecto de la lámina máxima disponible según las constantes hídricas del suelo.

Table 17. Soil humidity at sowing vs total soil available water content per soil stratus

Estrato de suelo	lámina a la siembra	lámina máxima disponible
cm	mm	mm
	(Wa)	(dt)*
0-20	29,2	33,9
20-40	42,4	23,5
40-60	46,9	25,7
0-60	118,5	83,0

* datos extraídos de la Tabla 16

Al momento de la siembra el estrato superior contó con el 85,8 % de la lámina máxima disponible, es decir sin implicancia de limitación hídrica para la germinación e implantación del cultivo. Por su parte, los estratos 20–40 y 40–60 cm se encontraron saturados.

3.1.9. Textura

Los resultados del análisis de suelo determinaron la textura general del lote de tipo franco limosa según el triángulo textural propuesto por el Soil Quality Institute del Agricultural Research Service – Natural Resources Institute del USDA (2001).

4. DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES DE SUELO PARA EL CULTIVO DE AVENA

4.1. Nitrógeno asimilable (NA)

Los resultados de los cálculos de NA medio disponible por estrato de suelo para todo el lote bajo ensayo se resumen en la Tabla 18.

Tabla 18. Contenidos de nitrógeno asimilable (NA) expresados en kg ha^{-1} , obtenido a partir de Nt, day PCA

Table 18. Useful nitrogen (NA) content in kg ha^{-1} as a result from the fraction of total nitrogen (Nt), in relation to bulk density (da) and arable top soilweight. (PCA).

Estrato de suelo	Nt *	NA	da *	PCA	NA
Cm	%	%	g.cm^{-3}	t.ha^{-1}	kg.ha^{-1}
0-20	4,92	0,074	0,83	1660	1225,08
20-40	2,88	0,043	0,89	1780	768,96
40-60	1,98	0,030	0,97	1940	576,18
0-60					2570,22

*promedio de los datos extraídos de la Tabla 14.

La cantidad de N disponible en los primeros 60 cm de perfil ($2570 \text{ kg N .ha}^{-1}$) supera ampliamente los requerimientos de 150 kg N ha^{-1} propuestos y recomendados por la bibliografía (Doorenbos & Kassam 1979; Vernet 1995; Marino *et al.* 2004; Maddonni *et al.* 2003; Álvarez 2007).

4.2. Fósforo (P)

Los análisis de P indicaron un valor de 7,33 ppm en el estrato de 0–20 cm, que equivale a una disponibilidad de 12,2 kg de P ha⁻¹, en peso de la capa arable. Vernet (1995) sugiere un mínimo de 12 ppm para esta clase de cultivo. Sin embargo y de acuerdo a la tabla de referencia propuesta por Merino (2004) para el método Olsen, el valor de 12 ppm está en el límite del rango de los valores considerados bajos. El lote bajo estudio no había estado antes del presente ensayo bajo riego, con lo cual, se tomaron en referencia a la situación de producción en secano de la misma autora. En base a ello se realizaron los cálculos de fertilización y la decisión de fertilizar con un arrancador a razón de 80 kg ha⁻¹ de composición 9:46:0 4: 6 (N:P₂O₅:K₂O Ca:S) incorporado al momento de la siembra. Con dicha dosis, teóricamente se elevó el contenido de P a 14 ppm, considerándolo un nivel no restrictivo para el crecimiento adecuado del cultivo.

4.3. Potasio (K⁺)

En la Tabla 19 se presenta el resumen de los cálculos para la disponibilidad de K⁺.

Tabla 19. Resumen del cálculo de la disponibilidad de K (kg ha⁻¹) por estrato

Table 19. Summary of K stratus availability in kg ha⁻¹

Estrato de suelo cm	K ⁺ * ppm	PCA ** t ha ⁻¹	K ⁺ kg ha ⁻¹
0-20	586,5	1660	973,6
20-40	285,4	1780	508,0
40-60	172,0	1940	333,7
0-60			1989,6

* datos extraídos de la Tabla 15.

** datos extraídos de la Tabla 18.

Los resultados de los cálculos indican una disponibilidad de $1989,6 \text{ kg K}^+ \text{ ha}^{-1}$, que satisface ampliamente los requerimientos de entre $25\text{--}50 \text{ kg K}^+ \text{ ha}^{-1}$, propuestos por Doorenbos & Kassam (1979). Por lo cual, se consideró innecesario fertilizar en este caso con este elemento.

5. ENSAYOS DE INFILTRACIÓN

Tabla 20. Datos de los ensayos de infiltración realizados a campo

Table 20. Records of infield infiltration tests.

ensayo de infiltración nº	tiempo acumulado (min)	lámina acumulada (mm)
1	1	5
	5	7
	10	8
	17	9
	21	11
	31	14
	41	19
	51	24
	66	27
	105	32
	126	37
	146	42
	156	45
2	1	2
	5	4
	10	6
	15	8
	33	14
	60	24
	90	33
	120	41
	164	55
3	1	5
	5	19
	10	35
	18	58
	40	120
	70	195
	89	255
	98	285
	121	328
	163	401
	174	420
	190	465
	202	495
237	535	
4	1	7
	5	17
	11	26
	15	32

	26	48
	32	54
	73	114
	101	149
	114	167
	154	219
	183	259

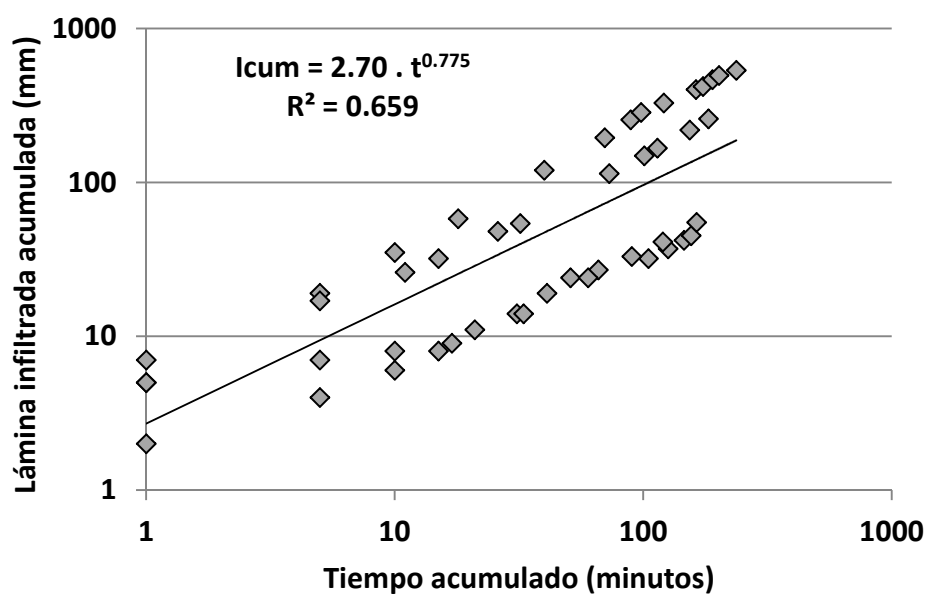


Figura 19. Lámina acumulada en función del tiempo acumulado, resultado de los ensayos de infiltración realizados a campo.

Figure 19. Cumulative water depth vs accumulated time, as a result of infield infiltration tests.

Los ensayos de infiltración determinaron una I_b de $41,6 \text{ mm h}^{-1}$, que caracteriza al suelo con una infiltración moderadamente rápida, según las clases de infiltración propuestas por el Soil Quality Institute del Agricultural Research Service – Natural Resources Institute del USDA (2001).

La ecuación obtenida fue:

$$I_{cum} \text{ (mm)} = A * t_{(\text{min})}^B = 2,7 * t_{(\text{min})}^{0,775} \quad R^2 = 0,659$$

Los resultados de I_b concuerdan con datos reportados por varios autores en situaciones de suelos de origen volcánico de distintas partes del mundo (Poulenard *et al.* 2001; Thierfelder *et al.* 2005; Zehetner & Miller 2006; Bamutaze *et al.* 2010; Neris *et al.* 2012).

6. TABLAS DE CÁLCULO DE LA ET_{caj} PARA CADA TRATAMIENTO DE RIEGO.

Tabla 21. Cálculos de ET_{caj} y balance hídrico del suelo para el tratamiento de riego T_{103} .

Table 21. ET_{caj} and soil water balance calculations for irrigation treatment T_{103}

T_{103}

Agua total disponible (mm)		DT_{-60}	92,7								
Fracción fácilmente disponible		p	0,55								
		1-p	0,45								
Agua fácilmente disponible (mm)		AFA	51,0								
desde / hasta	ET_o (mm)	kc	ET_c (mm)	Déficit hídrico inicial (mm)	ks	ET_{caj} (mm)	Déficit al final del día = $D_{fd-1} + ET_{caj} + Dp - Pp_e - I + Rf$	Pp_e	$I T_{103}$	Dp	BH suelo T_{103}
28/10/11 - 03/11/11							0			48,9	92,7
04-Nov-11	4,6	0,3	1,4	0,0	1,00	1,4	0,4	1	0		92,3
05-Nov-11	4,6	0,3	1,4	0,4	1,00	1,4	1,8	0	0		90,9
06-Nov-11	4,6	0,3	1,4	1,8	1,00	1,4	3,1	0	0		89,5
07-Nov-11	4,6	0,3	1,4	3,1	1,00	1,4	4,5	0	0		88,2
08-Nov-11	4,6	0,3	1,4	4,5	1,00	1,4	5,9	0	0		86,8
09-Nov-11	4,6	0,3	1,4	5,9	1,00	1,4	7,3	0	0		85,4
10-Nov-11	4,6	0,3	1,4	7,3	1,00	1,4	8,7	0	0		84,0
11-Nov-11	6,13	0,3	1,8	8,7	1,00	1,8	10,5	0	0		82,2
12-Nov-11	6,13	0,3	1,8	10,5	1,00	1,8	12,3	0	0		80,3
13-Nov-11	4,6	0,3	1,4	12,3	1,00	1,4	13,7	0	0		79,0
14-Nov-11	6,13	0,3	1,8	13,7	1,00	1,8	15,6	0	0		77,1
15-Nov-11	6,13	0,3	1,8	15,6	1,00	1,8	17,4	0	0		75,3
16-Nov-11	6,13	0,3	1,8	17,4	1,00	1,8	19,2	0	0		73,4
17-Nov-11	6,13	0,3	1,8	19,2	1,00	1,8	21,1	0	0		71,6
18-Nov-11	4,09	0,3	1,2	21,1	1,00	1,2	22,3	0	0		70,4
19-Nov-11	4,09	0,3	1,2	22,3	1,00	1,2	23,5	0	0		69,1
20-Nov-11	4,09	0,3	1,2	23,5	1,00	1,2	24,8	0	0		67,9
21-Nov-11	4,09	0,3	1,2	24,8	1,00	1,2	0,0	28,8	0	2,8	92,7
22-Nov-11	4,09	0,3	1,2	0,0	1,00	1,2	1,2	0	0		91,4
23-Nov-11	4,09	0,3	1,2	1,2	1,00	1,2	2,5	0	0		90,2
24-Nov-11	4,09	0,3	1,2	2,5	1,00	1,2	3,7	0	0		89,0

25-Nov-11	4,81	0,3	1,4	3,7	1,00	1,4	5,1	0	0		87,6
26-Nov-11	4,81	0,3	1,4	5,1	1,00	1,4	6,6	0	0		86,1
27-Nov-11	4,81	0,3	1,4	6,6	1,00	1,4	8,0	0	0		84,7
28-Nov-11	4,81	0,3	1,4	8,0	1,00	1,4	5,8	3,7	0		86,9
29-Nov-11	4,81	0,3	1,4	5,8	1,00	1,4	7,2	0	0		85,5
30-Nov-11	4,81	0,3	1,4	7,2	1,00	1,4	8,6	0	0		84,0
01-Dic-11	4,81	0,3	1,4	8,6	1,00	1,4	10,1	0	0		82,6
02-Dic-11	5,53	0,51	2,8	10,1	1,00	2,8	12,9	0	0		79,8
03-Dic-11	5,53	0,51	2,8	12,9	1,00	2,8	15,7	0	0		77,0
04-Dic-11	5,53	0,51	2,8	15,7	1,00	2,8	18,5	0	0		74,1
05-Dic-11	5,53	0,51	2,8	18,5	1,00	2,8	21,1	0,3	0		71,6
06-Dic-11	5,53	0,51	2,8	21,1	1,00	2,8	23,9	0	0		68,8
07-Dic-11	5,53	0,51	2,8	23,9	1,00	2,8	26,7	0	0		66,0
08-Dic-11	5,53	0,51	2,8	26,7	1,00	2,8	29,5	0	0		63,2
09-Dic-11	5,38	0,73	3,9	29,5	1,00	3,9	33,5	0	0		59,2
10-Dic-11	5,38	0,73	3,9	33,5	1,00	3,9	37,4	0	0		55,3
11-Dic-11	5,38	0,73	3,9	37,4	1,00	3,9	41,3	0	0		51,4
12-Dic-11	5,38	0,73	3,9	41,3	1,00	3,9	45,2	0	0		47,4
13-Dic-11	5,38	0,73	3,9	45,2	1,00	3,9	49,2	0	0		43,5
14-Dic-11	5,38	0,73	3,9	49,2	1,00	3,9	53,1	0	0		39,6
15-Dic-11	5,38	0,73	3,9	53,1	0,95	3,7	56,8	0	0		35,9
16-Dic-11	4,78	0,94	4,5	56,8	0,86	3,9	60,7	0	0		32,0
17-Dic-11	4,78	0,94	4,5	60,7	0,77	3,4	64,1	0	0		28,5
18-Dic-11	4,78	0,94	4,5	64,1	0,68	3,1	67,2	0	0		25,5
19-Dic-11	4,78	0,94	4,5	67,2	0,61	2,7	62,2	7,7	0		30,4
20-Dic-11	4,78	0,94	4,5	62,2	0,73	3,3	65,5	0	0		27,1
21-Dic-11	4,78	0,94	4,5	65,5	0,65	2,9	68,5	0	0		24,2
22-Dic-11	4,78	0,94	4,5	68,5	0,58	2,6	71,1	0	0		21,6
23-Dic-11	6,75	1,15	7,8	71,1	0,52	4,0	75,1	0	0		17,6
24-Dic-11	6,75	1,15	7,8	75,1	0,42	3,3	78,4	0	0		14,3
25-Dic-11	6,75	1,15	7,8	78,4	0,34	2,7	81,0	0	0		11,7
26-Dic-11	6,75	1,15	7,8	81,0	0,28	2,2	83,2	0	0		9,5
27-Dic-11	6,75	1,15	7,8	83,2	0,23	1,8	85,0	0	0		7,7
28-Dic-11	6,75	1,15	7,8	85,0	0,19	1,4	86,4	0	0		6,3
29-Dic-11	6,75	1,15	7,8	86,4	0,15	1,2	87,6	0	0		5,1
30-Dic-11	7,05	1,15	8,1	87,6	0,12	1,0	88,6	0	0		4,1
31-Dic-11	7,05	1,15	8,1	88,6	0,10	0,8	89,4	0	0		3,3
01-Ene-12	7,05	1,15	8,1	89,4	0,08	0,6	90,0	0	0		2,7
02-Ene-12	7,05	1,15	8,1	90,0	0,06	0,5	90,5	0	0		2,2
03-Ene-12	7,05	1,15	8,1	90,5	0,05	0,4	90,9	0	0		1,7
04-Ene-12	7,05	1,15	8,1	90,9	0,04	0,3	91,3	0	0		1,4
05-Ene-12	7,05	1,15	8,1	91,3	0,03	0,3	91,5	0	0		1,1
06-Ene-12	5,49	1,15	6,3	91,5	0,03	0,2	65,9	0	25,8		26,8
07-Ene-12	5,49	1,15	6,3	65,9	0,64	4,1	70,0	0	0		22,7
08-Ene-12	5,49	1,15	6,3	70,0	0,54	3,4	73,4	0	0		19,3

09-Ene-12	5,49	1,15	6,3	73,4	0,46	2,9	54,5	21,8	0		38,2
10-Ene-12	5,49	1,15	6,3	54,5	0,91	5,8	60,3	0	0		32,4
11-Ene-12	5,49	1,15	6,3	60,3	0,78	4,9	65,2	0	0		27,5
12-Ene-12	5,49	1,15	6,3	65,2	0,66	4,2	69,4	0	0		23,3
13-Ene-12	6,74	1,15	7,8	69,4	0,56	4,3	47,9	0	25,8		44,8
14-Ene-12	6,74	1,15	7,8	47,9	1,00	7,8	55,6	0	0		37,0
15-Ene-12	6,74	1,15	7,8	55,6	0,89	6,9	62,5	0	0		30,1
16-Ene-12	6,74	1,15	7,8	62,5	0,72	5,6	68,1	0	0		24,5
17-Ene-12	6,74	1,15	7,8	68,1	0,59	4,6	72,7	0	0		20,0
18-Ene-12	6,74	1,15	7,8	72,7	0,48	3,7	76,4	0	0		16,3
19-Ene-12	6,74	1,15	7,8	76,4	0,39	3,0	79,4	0	0		13,2
20-Ene-12	5,96	1,15	6,9	79,4	0,32	2,2	55,8	0	25,8		36,9
21-Ene-12	5,96	1,15	6,9	55,8	0,88	6,1	61,9	0	0		30,8
22-Ene-12	5,96	1,15	6,9	61,9	0,74	5,1	66,9	0	0		25,7
23-Ene-12	5,96	1,15	6,9	66,9	0,62	4,2	68,7	2,5	0		24,0
24-Ene-12	5,96	1,15	6,9	68,7	0,58	3,9	72,6	0	0		20,1
25-Ene-12	5,96	1,15	6,9	72,6	0,48	3,3	75,9	0	0		16,8
26-Ene-12	5,96	1,15	6,9	75,9	0,40	2,8	52,9	0	25,8		39,8
27-Ene-12	4,94	0,97	4,8	52,9	0,95	4,6	57,4	0	0		35,2
28-Ene-12	4,94	0,97	4,8	57,4	0,84	4,0	61,5	0	0		31,2
29-Ene-12	4,94	0,97	4,8	61,5	0,75	3,6	65,1	0	0		27,6
30-Ene-12	4,94	0,97	4,8	65,1	0,66	3,2	35,7	32,5	0		56,9
31-Ene-12	4,94	0,97	4,8	35,7	1,00	4,8	40,5	0	0		52,1
01-Feb-12	4,94	0,97	4,8	40,5	1,00	4,8	45,3	0	0		47,4
02-Feb-12	4,94	0,97	4,8	45,3	1,00	4,8	50,1	0	0		42,6
03-Feb-12	4,88	0,79	3,9	50,1	1,00	3,9	54,0	0	0		38,7
04-Feb-12	4,88	0,79	3,9	54,0	0,93	3,6	57,5	0	0		35,1
05-Feb-12	4,88	0,79	3,9	57,5	0,84	3,2	60,8	0	0		31,9
06-Feb-12	4,88	0,79	3,9	60,8	0,76	2,9	56,5	7,2	0		36,1
07-Feb-12	4,88	0,79	3,9	56,5	0,87	3,3	59,9	0	0		32,8
08-Feb-12	4,88	0,79	3,9	59,9	0,79	3,0	62,9	0	0		29,8
09-Feb-12	4,88	0,79	3,9	62,9	0,71	2,8	65,7	0	0		27,0
10-Feb-12	4,94	0,61	3,0	65,7	0,65	2,0	67,6	0	0		25,1
11-Feb-12	4,94	0,61	3,0	67,6	0,60	1,8	69,4	0	0		23,2
12-Feb-12	4,94	0,61	3,0	69,4	0,56	1,7	71,1	0	0		21,6
13-Feb-12	4,94	0,61	3,0	71,1	0,52	1,6	65,7	7	0		27,0
14-Feb-12	4,94	0,61	3,0	65,7	0,65	2,0	67,6	0	0		25,1
15-Feb-12	4,94	0,61	3,0	67,6	0,60	1,8	69,4	0	0		23,2
16-Feb-12	4,94	0,61	3,0	69,4	0,56	1,7	71,1	0	0		21,6
17-Feb-12	3,67	0,43	1,6	71,1	0,52	0,8	71,9	0	0		20,8
18-Feb-12	3,67	0,43	1,6	71,9	0,50	0,8	72,7	0	0		20,0
19-Feb-12	3,67	0,43	1,6	72,7	0,48	0,8	73,5	0	0		19,2
20-Feb-12	3,67	0,43	1,6	73,5	0,46	0,7	64,7	9,5	0		28,0
21-Feb-12	3,67	0,43	1,6	64,7	0,67	1,1	65,8	0	0		26,9
22-Feb-12	3,67	0,43	1,6	65,8	0,65	1,0	66,8	0	0		25,9

23-Feb-12	3,67	0,43	1,6	66,8	0,62	1,0	67,8	0	0		24,9
24-Feb-12	3,5	0,25	0,9	67,8	0,60	0,5	68,3	0	0		24,4
25-Feb-12	3,5	0,25	0,9	68,3	0,59	0,5	64,4	4,4	0		28,3
26-Feb-12	3,5	0,25	0,9	64,4	0,68	0,6	65,0	0	0		27,7
27-Feb-12	3,5	0,25	0,9	65,0	0,66	0,6	65,6	0	0		27,1
28-Feb-12	3,5	0,25	0,9	65,6	0,65	0,6	66,1	0	0		26,5
TOTAL			474,0			292,9		126,4	103,2		

Tabla 22. Cálculos de ET_{caj} y balance hídrico del suelo para el tratamiento de riego T_{88} .

Table 22. ET_{caj} and soil water balance calculations for irrigation treatment T_{88}

T_{88}											
Agua total disponible (mm)		DT_{0-60}	74,7								
Fracción fácilmente disponible		p	0,55								
		1-p	0,45								
Agua fácilmente disponible (mm)		AFA	41,1								
desde / hasta	ET_o (mm)	kc	ET_c (mm)	Déficit hídrico inicial (mm)	ks	ET_{caj} (mm)	Déficit al final del día = $D_{fd-1} + ET_{caj} + D_p - P_{pe} - I + R_f$	P_{pe}	$I_{T_{88}}$	D_p	BH suelo T_{88}
28/10/11 - 03/11/11							0			29,9	74,7
04-Nov-11	4,6	0,3	1,4	0,0	1,00	1,4	0,4	1	0		74,4
05-Nov-11	4,6	0,3	1,4	0,4	1,00	1,4	1,8	0	0		73,0
06-Nov-11	4,6	0,3	1,4	1,8	1,00	1,4	3,1	0	0		71,6
07-Nov-11	4,6	0,3	1,4	3,1	1,00	1,4	4,5	0	0		70,2
08-Nov-11	4,6	0,3	1,4	4,5	1,00	1,4	5,9	0	0		68,8
09-Nov-11	4,6	0,3	1,4	5,9	1,00	1,4	7,3	0	0		67,5
10-Nov-11	4,6	0,3	1,4	7,3	1,00	1,4	8,7	0	0		66,1
11-Nov-11	6,13	0,3	1,8	8,7	1,00	1,8	10,5	0	0		64,2
12-Nov-11	6,13	0,3	1,8	10,5	1,00	1,8	12,3	0	0		62,4
13-Nov-11	4,6	0,3	1,4	12,3	1,00	1,4	13,7	0	0		61,0
14-Nov-11	6,13	0,3	1,8	13,7	1,00	1,8	15,6	0	0		59,2
15-Nov-11	6,13	0,3	1,8	15,6	1,00	1,8	17,4	0	0		57,4
16-Nov-11	6,13	0,3	1,8	17,4	1,00	1,8	19,2	0	0		55,5
17-Nov-11	6,13	0,3	1,8	19,2	1,00	1,8	21,1	0	0		53,7

18-Nov-11	4,09	0,3	1,2	21,1	1,00	1,2	22,3	0	0		52,4
19-Nov-11	4,09	0,3	1,2	22,3	1,00	1,2	23,5	0	0		51,2
20-Nov-11	4,09	0,3	1,2	23,5	1,00	1,2	24,8	0	0		50,0
21-Nov-11	4,09	0,3	1,2	24,8	1,00	1,2	0,0	28,8	0	2,8	74,7
22-Nov-11	4,09	0,3	1,2	0,0	1,00	1,2	1,2	0	0		73,5
23-Nov-11	4,09	0,3	1,2	1,2	1,00	1,2	2,5	0	0		72,3
24-Nov-11	4,09	0,3	1,2	2,5	1,00	1,2	3,7	0	0		71,1
25-Nov-11	4,81	0,3	1,4	3,7	1,00	1,4	5,1	0	0		69,6
26-Nov-11	4,81	0,3	1,4	5,1	1,00	1,4	6,6	0	0		68,2
27-Nov-11	4,81	0,3	1,4	6,6	1,00	1,4	8,0	0	0		66,7
28-Nov-11	4,81	0,3	1,4	8,0	1,00	1,4	5,8	3,7	0		69,0
29-Nov-11	4,81	0,3	1,4	5,8	1,00	1,4	7,2	0	0		67,6
30-Nov-11	4,81	0,3	1,4	7,2	1,00	1,4	8,6	0	0		66,1
01-Dic-11	4,81	0,3	1,4	8,6	1,00	1,4	10,1	0	0		64,7
02-Dic-11	5,53	0,51	2,8	10,1	1,00	2,8	12,9	0	0		61,8
03-Dic-11	5,53	0,51	2,8	12,9	1,00	2,8	15,7	0	0		59,0
04-Dic-11	5,53	0,51	2,8	15,7	1,00	2,8	18,5	0	0		56,2
05-Dic-11	5,53	0,51	2,8	18,5	1,00	2,8	21,1	0,3	0		53,7
06-Dic-11	5,53	0,51	2,8	21,1	1,00	2,8	23,9	0	0		50,9
07-Dic-11	5,53	0,51	2,8	23,9	1,00	2,8	26,7	0	0		48,0
08-Dic-11	5,53	0,51	2,8	26,7	1,00	2,8	29,5	0	0		45,2
09-Dic-11	5,38	0,73	3,9	29,5	1,00	3,9	33,5	0	0		41,3
10-Dic-11	5,38	0,73	3,9	33,5	1,00	3,9	37,4	0	0		37,4
11-Dic-11	5,38	0,73	3,9	37,4	1,00	3,9	41,3	0	0		33,4
12-Dic-11	5,38	0,73	3,9	41,3	0,99	3,9	45,2	0	0		29,5
13-Dic-11	5,38	0,73	3,9	45,2	0,88	3,4	48,7	0	0		26,1
14-Dic-11	5,38	0,73	3,9	48,7	0,78	3,0	51,7	0	0		23,0
15-Dic-11	5,38	0,73	3,9	51,7	0,69	2,7	54,4	0	0		20,4
16-Dic-11	4,78	0,94	4,5	54,4	0,61	2,7	57,1	0	0		17,6
17-Dic-11	4,78	0,94	4,5	57,1	0,52	2,4	59,5	0	0		15,3
18-Dic-11	4,78	0,94	4,5	59,5	0,45	2,0	61,5	0	0		13,2
19-Dic-11	4,78	0,94	4,5	61,5	0,39	1,8	55,6	7,7	0		19,2
20-Dic-11	4,78	0,94	4,5	55,6	0,57	2,6	58,1	0	0		16,6
21-Dic-11	4,78	0,94	4,5	58,1	0,49	2,2	60,4	0	0		14,4
22-Dic-11	4,78	0,94	4,5	60,4	0,43	1,9	62,3	0	0		12,5
23-Dic-11	6,75	1,15	7,8	62,3	0,37	2,9	65,2	0	0		9,6
24-Dic-11	6,75	1,15	7,8	65,2	0,29	2,2	67,4	0	0		7,4
25-Dic-11	6,75	1,15	7,8	67,4	0,22	1,7	69,1	0	0		5,7
26-Dic-11	6,75	1,15	7,8	69,1	0,17	1,3	70,4	0	0		4,4
27-Dic-11	6,75	1,15	7,8	70,4	0,13	1,0	71,4	0	0		3,4
28-Dic-11	6,75	1,15	7,8	71,4	0,10	0,8	72,2	0	0		2,6
29-Dic-11	6,75	1,15	7,8	72,2	0,08	0,6	72,8	0	0		2,0
30-Dic-11	7,05	1,15	8,1	72,8	0,06	0,5	73,2	0	0		1,5
31-Dic-11	7,05	1,15	8,1	73,2	0,04	0,4	73,6	0	0		1,1
01-Ene-12	7,05	1,15	8,1	73,6	0,03	0,3	73,9	0	0		0,9

02-Ene-12	7,05	1,15	8,1	73,9	0,03	0,2	74,1	0	0		0,7
03-Ene-12	7,05	1,15	8,1	74,1	0,02	0,2	74,2	0	0		0,5
04-Ene-12	7,05	1,15	8,1	74,2	0,01	0,1	74,4	0	0		0,4
05-Ene-12	7,05	1,15	8,1	74,4	0,01	0,1	74,5	0	0		0,3
06-Ene-12	5,49	1,15	6,3	74,5	0,01	0,1	52,5	0	22		22,2
07-Ene-12	5,49	1,15	6,3	52,5	0,66	4,2	56,7	0	0		18,1
08-Ene-12	5,49	1,15	6,3	56,7	0,54	3,4	60,1	0	0		14,7
09-Ene-12	5,49	1,15	6,3	60,1	0,44	2,8	41,0	21,8	0		33,7
10-Ene-12	5,49	1,15	6,3	41,0	1,00	6,3	47,3	0	0		27,4
11-Ene-12	5,49	1,15	6,3	47,3	0,81	5,1	52,5	0	0		22,3
12-Ene-12	5,49	1,15	6,3	52,5	0,66	4,2	56,7	0	0		18,1
13-Ene-12	6,74	1,15	7,8	56,7	0,54	4,2	38,8	0	22		35,9
14-Ene-12	6,74	1,15	7,8	38,8	1,00	7,8	46,6	0	0		28,2
15-Ene-12	6,74	1,15	7,8	46,6	0,84	6,5	53,1	0	0		21,7
16-Ene-12	6,74	1,15	7,8	53,1	0,64	5,0	58,1	0	0		16,7
17-Ene-12	6,74	1,15	7,8	58,1	0,50	3,8	61,9	0	0		12,8
18-Ene-12	6,74	1,15	7,8	61,9	0,38	3,0	64,9	0	0		9,9
19-Ene-12	6,74	1,15	7,8	64,9	0,29	2,3	67,1	0	0		7,6
20-Ene-12	5,96	1,15	6,9	67,1	0,23	1,5	46,7	0	22		28,1
21-Ene-12	5,96	1,15	6,9	46,7	0,83	5,7	52,4	0	0		22,3
22-Ene-12	5,96	1,15	6,9	52,4	0,66	4,6	57,0	0	0		17,8
23-Ene-12	5,96	1,15	6,9	57,0	0,53	3,6	58,1	2,5	0		16,7
24-Ene-12	5,96	1,15	6,9	58,1	0,50	3,4	61,5	0	0		13,3
25-Ene-12	5,96	1,15	6,9	61,5	0,39	2,7	64,2	0	0		10,6
26-Ene-12	5,96	1,15	6,9	64,2	0,31	2,2	44,3	0	22		30,4
27-Ene-12	4,94	0,97	4,8	44,3	0,90	4,3	48,7	0	0		26,1
28-Ene-12	4,94	0,97	4,8	48,7	0,78	3,7	52,4	0	0		22,4
29-Ene-12	4,94	0,97	4,8	52,4	0,66	3,2	55,6	0	0		19,2
30-Ene-12	4,94	0,97	4,8	55,6	0,57	2,7	25,8	32,5	0		48,9
31-Ene-12	4,94	0,97	4,8	25,8	1,00	4,8	30,6	0	0		44,2
01-Feb-12	4,94	0,97	4,8	30,6	1,00	4,8	35,4	0	0		39,4
02-Feb-12	4,94	0,97	4,8	35,4	1,00	4,8	40,2	0	0		34,6
03-Feb-12	4,88	0,79	3,9	40,2	1,00	3,9	44,0	0	0		30,7
04-Feb-12	4,88	0,79	3,9	44,0	0,91	3,5	47,6	0	0		27,2
05-Feb-12	4,88	0,79	3,9	47,6	0,81	3,1	50,7	0	0		24,1
06-Feb-12	4,88	0,79	3,9	50,7	0,72	2,8	46,2	7,2	0		28,5
07-Feb-12	4,88	0,79	3,9	46,2	0,85	3,3	49,5	0	0		25,2
08-Feb-12	4,88	0,79	3,9	49,5	0,75	2,9	52,4	0	0		22,4
09-Feb-12	4,88	0,79	3,9	52,4	0,66	2,6	55,0	0	0		19,8
10-Feb-12	4,94	0,61	3,0	55,0	0,59	1,8	56,7	0	0		18,0
11-Feb-12	4,94	0,61	3,0	56,7	0,54	1,6	58,3	0	0		16,4
12-Feb-12	4,94	0,61	3,0	58,3	0,49	1,5	59,8	0	0		14,9
13-Feb-12	4,94	0,61	3,0	59,8	0,44	1,3	54,2	7	0		20,6
14-Feb-12	4,94	0,61	3,0	54,2	0,61	1,8	56,0	0	0		18,8
15-Feb-12	4,94	0,61	3,0	56,0	0,56	1,7	57,7	0	0		17,1

16-Feb-12	4,94	0,61	3,0	57,7	0,51	1,5	59,2	0	0		15,5
17-Feb-12	3,67	0,43	1,6	59,2	0,46	0,7	59,9	0	0		14,8
18-Feb-12	3,67	0,43	1,6	59,9	0,44	0,7	60,6	0	0		14,1
19-Feb-12	3,67	0,43	1,6	60,6	0,42	0,7	61,3	0	0		13,5
20-Feb-12	3,67	0,43	1,6	61,3	0,40	0,6	52,4	9,5	0		22,3
21-Feb-12	3,67	0,43	1,6	52,4	0,66	1,0	53,5	0	0		21,3
22-Feb-12	3,67	0,43	1,6	53,5	0,63	1,0	54,5	0	0		20,3
23-Feb-12	3,67	0,43	1,6	54,5	0,60	1,0	55,4	0	0		19,3
24-Feb-12	3,5	0,25	0,9	55,4	0,57	0,5	55,9	0	0		18,8
25-Feb-12	3,5	0,25	0,9	55,9	0,56	0,5	52,0	4,4	0		22,7
26-Feb-12	3,5	0,25	0,9	52,0	0,68	0,6	52,6	0	0		22,1
27-Feb-12	3,5	0,25	0,9	52,6	0,66	0,6	53,2	0	0		21,6
28-Feb-12	3,5	0,25	0,9	53,2	0,64	0,6	53,7	0	0		21,0
TOTAL			474,0			265,3		126,4	88,0		

Tabla 23. Cálculos de ET_{caj} y balance hídrico del suelo para el tratamiento de riego T_{60} .Table 23. ET_{caj} and soil water balance calculations for irrigation treatment T_{60}

T_{60}

Agua total disponible (mm)			DT ₀₋₆₀	81,6							
Fracción fácilmente disponible			p	0,55							
			1-p	0,45							
Agua fácilmente disponible (mm)			AFA	44,9							
desde / hasta	ET _o (mm)	kc	ET _c (mm)	Déficit hídrico inicial (mm)	ks	ET _{caj} (mm)	Déficit al final del día = D _{fd-1} + ET _{caj} + Dp - Pp _e - I + Rf	Pp _e	I T ₆₀	Dp	BH suelo T ₆₀
28/10/11 - 03/11/11							0			48,2	81,6
04-Nov-11	4,6	0,3	1,4	0,0	1,00	1,4	0,4	1	0		81,2
05-Nov-11	4,6	0,3	1,4	0,4	1,00	1,4	1,8	0	0		79,9
06-Nov-11	4,6	0,3	1,4	1,8	1,00	1,4	3,1	0	0		78,5
07-Nov-11	4,6	0,3	1,4	3,1	1,00	1,4	4,5	0	0		77,1
08-Nov-11	4,6	0,3	1,4	4,5	1,00	1,4	5,9	0	0		75,7
09-Nov-11	4,6	0,3	1,4	5,9	1,00	1,4	7,3	0	0		74,3
10-Nov-11	4,6	0,3	1,4	7,3	1,00	1,4	8,7	0	0		73,0
11-Nov-11	6,13	0,3	1,8	8,7	1,00	1,8	10,5	0	0		71,1

12-Nov-11	6,13	0,3	1,8	10,5	1,00	1,8	12,3	0	0		69,3
13-Nov-11	4,6	0,3	1,4	12,3	1,00	1,4	13,7	0	0		67,9
14-Nov-11	6,13	0,3	1,8	13,7	1,00	1,8	15,6	0	0		66,1
15-Nov-11	6,13	0,3	1,8	15,6	1,00	1,8	17,4	0	0		64,2
16-Nov-11	6,13	0,3	1,8	17,4	1,00	1,8	19,2	0	0		62,4
17-Nov-11	6,13	0,3	1,8	19,2	1,00	1,8	21,1	0	0		60,6
18-Nov-11	4,09	0,3	1,2	21,1	1,00	1,2	22,3	0	0		59,3
19-Nov-11	4,09	0,3	1,2	22,3	1,00	1,2	23,5	0	0		58,1
20-Nov-11	4,09	0,3	1,2	23,5	1,00	1,2	24,8	0	0		56,9
21-Nov-11	4,09	0,3	1,2	24,8	1,00	1,2	0,0	28,8	0	2,8	81,6
22-Nov-11	4,09	0,3	1,2	0,0	1,00	1,2	1,2	0	0		80,4
23-Nov-11	4,09	0,3	1,2	1,2	1,00	1,2	2,5	0	0		79,2
24-Nov-11	4,09	0,3	1,2	2,5	1,00	1,2	3,7	0	0		77,9
25-Nov-11	4,81	0,3	1,4	3,7	1,00	1,4	5,1	0	0		76,5
26-Nov-11	4,81	0,3	1,4	5,1	1,00	1,4	6,6	0	0		75,1
27-Nov-11	4,81	0,3	1,4	6,6	1,00	1,4	8,0	0	0		73,6
28-Nov-11	4,81	0,3	1,4	8,0	1,00	1,4	5,8	3,7	0		75,9
29-Nov-11	4,81	0,3	1,4	5,8	1,00	1,4	7,2	0	0		74,4
30-Nov-11	4,81	0,3	1,4	7,2	1,00	1,4	8,6	0	0		73,0
01-Dic-11	4,81	0,3	1,4	8,6	1,00	1,4	10,1	0	0		71,5
02-Dic-11	5,53	0,51	2,8	10,1	1,00	2,8	12,9	0	0		68,7
03-Dic-11	5,53	0,51	2,8	12,9	1,00	2,8	15,7	0	0		65,9
04-Dic-11	5,53	0,51	2,8	15,7	1,00	2,8	18,5	0	0		63,1
05-Dic-11	5,53	0,51	2,8	18,5	1,00	2,8	21,1	0,3	0		60,6
06-Dic-11	5,53	0,51	2,8	21,1	1,00	2,8	23,9	0	0		57,7
07-Dic-11	5,53	0,51	2,8	23,9	1,00	2,8	26,7	0	0		54,9
08-Dic-11	5,53	0,51	2,8	26,7	1,00	2,8	29,5	0	0		52,1
09-Dic-11	5,38	0,73	3,9	29,5	1,00	3,9	33,5	0	0		48,2
10-Dic-11	5,38	0,73	3,9	33,5	1,00	3,9	37,4	0	0		44,2
11-Dic-11	5,38	0,73	3,9	37,4	1,00	3,9	41,3	0	0		40,3
12-Dic-11	5,38	0,73	3,9	41,3	1,00	3,9	45,2	0	0		36,4
13-Dic-11	5,38	0,73	3,9	45,2	0,99	3,9	49,1	0	0		32,5
14-Dic-11	5,38	0,73	3,9	49,1	0,88	3,5	52,6	0	0		29,0
15-Dic-11	5,38	0,73	3,9	52,6	0,79	3,1	55,7	0	0		25,9
16-Dic-11	4,78	0,94	4,5	55,7	0,71	3,2	58,9	0	0		22,8
17-Dic-11	4,78	0,94	4,5	58,9	0,62	2,8	61,7	0	0		20,0
18-Dic-11	4,78	0,94	4,5	61,7	0,54	2,4	64,1	0	0		17,5
19-Dic-11	4,78	0,94	4,5	64,1	0,48	2,1	58,5	7,7	0		23,1
20-Dic-11	4,78	0,94	4,5	58,5	0,63	2,8	61,4	0	0		20,3
21-Dic-11	4,78	0,94	4,5	61,4	0,55	2,5	63,8	0	0		17,8
22-Dic-11	4,78	0,94	4,5	63,8	0,48	2,2	66,0	0	0		15,6
23-Dic-11	6,75	1,15	7,8	66,0	0,42	3,3	69,3	0	0		12,3
24-Dic-11	6,75	1,15	7,8	69,3	0,34	2,6	71,9	0	0		9,7
25-Dic-11	6,75	1,15	7,8	71,9	0,26	2,1	74,0	0	0		7,7
26-Dic-11	6,75	1,15	7,8	74,0	0,21	1,6	75,6	0	0		6,0

27-Dic-11	6,75	1,15	7,8	75,6	0,16	1,3	76,9	0	0		4,8
28-Dic-11	6,75	1,15	7,8	76,9	0,13	1,0	77,9	0	0		3,8
29-Dic-11	6,75	1,15	7,8	77,9	0,10	0,8	78,7	0	0		3,0
30-Dic-11	7,05	1,15	8,1	78,7	0,08	0,7	79,3	0	0		2,3
31-Dic-11	7,05	1,15	8,1	79,3	0,06	0,5	79,8	0	0		1,8
01-Ene-12	7,05	1,15	8,1	79,8	0,05	0,4	80,2	0	0		1,4
02-Ene-12	7,05	1,15	8,1	80,2	0,04	0,3	80,5	0	0		1,1
03-Ene-12	7,05	1,15	8,1	80,5	0,03	0,2	80,8	0	0		0,9
04-Ene-12	7,05	1,15	8,1	80,8	0,02	0,2	81,0	0	0		0,7
05-Ene-12	7,05	1,15	8,1	81,0	0,02	0,1	81,1	0	0		0,5
06-Ene-12	5,49	1,15	6,3	81,1	0,01	0,1	66,1	0	15,1		15,5
07-Ene-12	5,49	1,15	6,3	66,1	0,42	2,7	68,8	0	0		12,9
08-Ene-12	5,49	1,15	6,3	68,8	0,35	2,2	71,0	0	0		10,6
09-Ene-12	5,49	1,15	6,3	71,0	0,29	1,8	51,0	21,8	0		30,6
10-Ene-12	5,49	1,15	6,3	51,0	0,83	5,3	56,3	0	0		25,4
11-Ene-12	5,49	1,15	6,3	56,3	0,69	4,4	60,6	0	0		21,0
12-Ene-12	5,49	1,15	6,3	60,6	0,57	3,6	64,2	0	0		17,4
13-Ene-12	6,74	1,15	7,8	64,2	0,47	3,7	52,8	0	15,1		28,8
14-Ene-12	6,74	1,15	7,8	52,8	0,78	6,1	58,9	0	0		22,7
15-Ene-12	6,74	1,15	7,8	58,9	0,62	4,8	63,7	0	0		17,9
16-Ene-12	6,74	1,15	7,8	63,7	0,49	3,8	67,5	0	0		14,2
17-Ene-12	6,74	1,15	7,8	67,5	0,39	3,0	70,5	0	0		11,2
18-Ene-12	6,74	1,15	7,8	70,5	0,30	2,4	72,8	0	0		8,8
19-Ene-12	6,74	1,15	7,8	72,8	0,24	1,9	74,7	0	0		7,0
20-Ene-12	5,96	1,15	6,9	74,7	0,19	1,3	60,9	0	15,1		20,8
21-Ene-12	5,96	1,15	6,9	60,9	0,57	3,9	64,7	0	0		16,9
22-Ene-12	5,96	1,15	6,9	64,7	0,46	3,2	67,9	0	0		13,7
23-Ene-12	5,96	1,15	6,9	67,9	0,37	2,6	68,0	2,5	0		13,7
24-Ene-12	5,96	1,15	6,9	68,0	0,37	2,6	70,5	0	0		11,1
25-Ene-12	5,96	1,15	6,9	70,5	0,30	2,1	72,6	0	0		9,0
26-Ene-12	5,96	1,15	6,9	72,6	0,25	1,7	59,2	0	15,1		22,5
27-Ene-12	4,94	0,97	4,8	59,2	0,61	2,9	62,1	0	0		19,5
28-Ene-12	4,94	0,97	4,8	62,1	0,53	2,5	64,6	0	0		17,0
29-Ene-12	4,94	0,97	4,8	64,6	0,46	2,2	66,9	0	0		14,8
30-Ene-12	4,94	0,97	4,8	66,9	0,40	1,9	36,3	32,5	0		45,3
31-Ene-12	4,94	0,97	4,8	36,3	1,00	4,8	41,1	0	0		40,5
01-Feb-12	4,94	0,97	4,8	41,1	1,00	4,8	45,9	0	0		35,8
02-Feb-12	4,94	0,97	4,8	45,9	0,97	4,7	50,5	0	0		31,1
03-Feb-12	4,88	0,79	3,9	50,5	0,85	3,3	53,8	0	0		27,8
04-Feb-12	4,88	0,79	3,9	53,8	0,76	2,9	56,7	0	0		24,9
05-Feb-12	4,88	0,79	3,9	56,7	0,68	2,6	59,3	0	0		22,3
06-Feb-12	4,88	0,79	3,9	59,3	0,61	2,3	54,5	7,2	0		27,2
07-Feb-12	4,88	0,79	3,9	54,5	0,74	2,8	57,3	0	0		24,3
08-Feb-12	4,88	0,79	3,9	57,3	0,66	2,6	59,9	0	0		21,8
09-Feb-12	4,88	0,79	3,9	59,9	0,59	2,3	62,2	0	0		19,5

10-Feb-12	4,94	0,61	3,0	62,2	0,53	1,6	63,8	0	0		17,9
11-Feb-12	4,94	0,61	3,0	63,8	0,49	1,5	65,2	0	0		16,4
12-Feb-12	4,94	0,61	3,0	65,2	0,45	1,3	66,6	0	0		15,1
13-Feb-12	4,94	0,61	3,0	66,6	0,41	1,2	60,8	7	0		20,8
14-Feb-12	4,94	0,61	3,0	60,8	0,57	1,7	62,5	0	0		19,1
15-Feb-12	4,94	0,61	3,0	62,5	0,52	1,6	64,1	0	0		17,5
16-Feb-12	4,94	0,61	3,0	64,1	0,48	1,4	65,5	0	0		16,1
17-Feb-12	3,67	0,43	1,6	65,5	0,44	0,7	66,2	0	0		15,4
18-Feb-12	3,67	0,43	1,6	66,2	0,42	0,7	66,9	0	0		14,8
19-Feb-12	3,67	0,43	1,6	66,9	0,40	0,6	67,5	0	0		14,1
20-Feb-12	3,67	0,43	1,6	67,5	0,38	0,6	58,6	9,5	0		23,0
21-Feb-12	3,67	0,43	1,6	58,6	0,63	1,0	59,6	0	0		22,0
22-Feb-12	3,67	0,43	1,6	59,6	0,60	0,9	60,5	0	0		21,1
23-Feb-12	3,67	0,43	1,6	60,5	0,57	0,9	61,5	0	0		20,2
24-Feb-12	3,5	0,25	0,9	61,5	0,55	0,5	61,9	0	0		19,7
25-Feb-12	3,5	0,25	0,9	61,9	0,54	0,5	58,0	4,4	0		23,6
26-Feb-12	3,5	0,25	0,9	58,0	0,64	0,6	58,6	0	0		23,1
27-Feb-12	3,5	0,25	0,9	58,6	0,63	0,5	59,1	0	0		22,5
28-Feb-12	3,5	0,25	0,9	59,1	0,61	0,5	59,7	0	0		22,0
TOTAL			474,0			242,5		126,4	60,4		

7. TABLAS DE REFERENCIA PARA LOS ANÁLISIS DE EVALUACIÓN DEL RIEGO CUC, CUD Y ED PARA EQUIPOS DE RIEGO POR ASPERSIÓN.

Tabla 24. Eficiencia de distribución del agua (ED) en función del CUC y del área correctamente regada.

Table 24. Water efficiency distribution (ED) according to CUC and adequate irrigated area.

CUC (%)	% del área correctamente irrigada								
	95	90	85	80	75	70	65	60	50
94	88	90	92	94	95	96	97	98	100
92	83	87	90	92	93	95	96	97	100
90	79	84	87	89	92	93	95	97	100
88	75	81	84	87	90	92	94	96	100
86	71	77	82	85	88	91	93	96	100
84	67	74	79	83	86	89	92	94	100
82	63	71	77	81	85	88	91	94	100
80	59	68	74	79	83	87	90	94	100
78	55	65	71	77	81	86	89	93	100
76	50	61	69	75	80	84	88	92	100
74	46	58	66	73	78	83	87	92	100
72	42	55	64	70	76	82	86	91	100
70	38	52	61	68	75	80	85	90	100
68	34	49	58	66	73	79	85	90	100
66	30	45	56	64	71	78	84	89	100
56	9	29	43	54	63	71	79	86	100

Fuente: Keller & Bliesner (1990 c)

8. ANÁLISIS DE AGUA

Tabla 25. Interpretación de los resultados del análisis del agua empleada durante la experimentación de riego a campo. Salida proporcionada por la hoja de cálculo desarrollada por Avellaneda *et al.* (2004).

Table 25. Irrigation water quality results interpretation. Output screened by Avellaneda *et al.* (2004) spreadsheet software.

INFORMACIÓN DE SALIDA				
Identificación de la muestra		1	Portada Datos de entrada Cálculos auxiliares	
Parámetros	Valor	Unidad	Clasificación	Autor
C.E. Actual	48	$\mu\text{S cm}^{-1}$	C1: Salinidad baja	Riverside
Conductividad Eléctrica Efectiva (CEE)	48	$\mu\text{S cm}^{-1}$	C1: Escasamente salina	Wainstein
Relación Adsorción Sodio (RAS)	3,00		S1: Baja peligrosidad	Riverside
RAS Potencial	3,00		S1: Baja peligrosidad	Riverside
RAS^o	1,72		Riesgo severo	Suárez
Coficiente de Álcali (K)	20,95		Buena	Stablier
INTERPRETACIÓN				
SALINIDAD				
Según WAINSTEIN				
Agua apta para el riego de todos los cultivos, en todos los suelos				
Según RIVERSIDE				
Puede usarse para la mayor parte de los cultivos en casi todos los suelos, sin que sea probable que se desarrollen condiciones de salinidad que puedan afectar a los rendimientos normales. Salvo en los casos de suelos muy poco permeables, donde se requerirá una cierta lixiviación provocada de intento, la práctica rutinaria del riego mantiene la salinidad en niveles muy bajos.				
INTERPRETACIÓN				
SODICIDAD				
Según RIVERSIDE				
Puede usarse en casi todos los suelos sin peligro que el nivel de Sodio Intercambiable suba demasiado. Sin embargo, plantas muy sensibles al sodio, tanto frutales de carozo y abocados (paltos), pueden llegar a acumular cantidades nocivas de este catión.				
Según STABBLER				
Se la puede utilizar con éxito durante muchos años sin tener necesidad de tomar precauciones para impedir la acumulación de sales.				
Según SUÁREZ				
Reducción severa de la tasa de infiltración.				

9. PRUEBAS DE DISTRIBUCIÓN NORMAL Y HOMOCEDASTICIDAD DE LA VARIANZA

9.1. Calidad de forraje

Tabla 26. Valores p de la prueba de distribución normal del error (Shapiro – Wilks modificado) y de la prueba de homocedasticidad de la varianza de las variables de calidad de forraje (α (alfa) = 0,1).

Table 26. Modified Shapiro – Wilks and variance homogeneity 's test p – values for forage quality tasks (α (alfa) = 0.1).

variable	valor p	
	Shapiro-Wilks modificado (RDO__)	Homocedasticidad de la varianza (RABS__)
% PB	0,5489	0,3444
EM	0,662	0,2352
% DIVMS	0,3865	0,3345
FDN	0,2105	0,3088
FDA	0,3849	0,3348
% humedad	0,736	0,4993
% cenizas	0,9058	0,3354
% grasas	0,7521	0,5273
% fibras	0,6639	0,1564
ELN	0,8373	0,5594

9.2. Rendimiento de grano (kg grano ha^{-1}), peso de 1000 semillas y número de granos ha^{-1}

Tabla 27. Valores p de la prueba de distribución normal del error (Shapiro – Wilks modificado) y de la prueba de homocedasticidad de la varianza de rendimiento de grano (kg grano ha^{-1}) y los componentes del rendimiento (peso de 1000 semillas y número de granos ha^{-1}) (α (alfa) = 0,1).

Table 27. Modified Shapiro – Wilks and variance homogeneity s test p – values for grain yield (kg grano ha^{-1}) and its components (1000 kernel weight and grain number per ha^{-1}) (α (alfa) = 0.1).

variable	valor p	
	Shapiro-Wilks modificado (RDO __)	Homocedasticidad de la varianza (RABS __)
kg grano ha^{-1}	0,2367	0,918
peso de 1000 semillas	0,4909	0,1143
n° de grano ha^{-1}	0,2246	0,8765

GLOSARIO

Barbecho: Se denomina barbecho a la tierra que no se siembra durante uno o varios ciclos vegetativos, con el propósito de recuperar y almacenar materia orgánica y humedad. También se refiere simplemente a la tierra que se deja descansar por uno o varios años. Es una práctica habitual en la rotación de cultivos.

Durante el tiempo que permanece sin cultivar es sometido a una serie de labores con objeto de mejorar su predisposición al cultivo.

En los planteos de producción de siembra directa y/o labranza reducida, un **barbecho químico** eficaz es una de las herramientas claves para el éxito de los diferentes cultivos que se suceden en la rotación, básicamente en referencia a la eficiencia en el uso del agua. El mismo consiste en mantener el suelo (que permanece sin remoción) libre de malezas durante el período de tiempo que va desde la cosecha de un cultivo hasta la siembra del siguiente a través del uso de herbicidas. Así, todos los tratamientos herbicidas que se realizan dentro de ese lapso y con ese objetivo se denominan barbecho químico, y permiten:

- evitar que las malezas del rastrojo consuman el agua que se acumula en el perfil, y así permitir que la misma esté disponible para el cultivo siguiente.
- evitar que las malezas alcancen un estado de crecimiento que luego dificulten un control efectivo. y
- asegurar una adecuada disponibilidad de agua que muchas veces posibilita elegir con mayor precisión el momento de la siembra, sin depender de lluvias del momento para poder realizarla (flexibiliza la ventana de siembra).

(Dow AgroSciences Argentina, 2011)

Mineralización: consiste en la transformación de las formas orgánicas de los elementos a las formas inorgánicas en las cuales son absorbidos por las plantas (Rodríguez, 2008). Es la pérdida lenta de la MO estable que se encuentra presente en las sustancias humificadas del suelo. La descomposición de los residuos vegetales es el proceso mediante el cual ellos desaparecen como tales, liberando C y los otros minerales que los constituyen. En suelos aireados, húmedos, cálidos y poco ácidos, la descomposición es rápida. La mineralización ocurre a través de la degradación microbiana (Segat, 1995); es el proceso opuesto a la humificación (Álvarez, 2001).

Valor cultural

En función del poder germinativo (%) e impurezas (%) de las semillas se calcula el valor cultural. El valor cultural se emplea en el cálculo de la cantidad de semilla ha⁻¹ necesaria para una determinada densidad de plantas. Las unidades finales del valor cultural también son en porcentaje.

$$\text{Valor cultural (\%)} = \frac{\text{Poder germinativo (\%)} \times \text{Pureza (\%)}}{100}$$

Al hablar de la densidad de siembra, debemos centrar nuestra atención en el número de plantas por metro cuadrado que deseamos lograr, porque será, en definitiva, el factor que condicionará la cantidad de semillas que vamos a emplear.

No podemos suponer que de cada semilla obtendremos una planta porque no todas las semillas son viables ni poseen el mismo poder germinativo.

La cantidad de plantas m⁻² determina la ocupación del espacio, y el uso de los recursos; en consecuencia, todos aquellos sitios que queden libres podrán ser invadidos más fácilmente por malezas.

Por otra parte, el número de plantas logradas m^{-2} es el primer componente en la determinación del rendimiento. Si el número de plantas m^{-2} establecido es bajo y el número de malezas que proliferaron en su lugar es alto, la cantidad y calidad de forraje se verá altamente afectado.

- Coeficiente de logro:

Existen diversos motivos que afectan la implantación de un cultivo. Algunos son propios de la semilla, y otros dependen de las condiciones del suelo y de las tareas culturales. La falta de humedad y temperaturas apropiadas en el suelo, heladas, suelo planchado, excesiva profundidad de siembra, plagas, enfermedades, etc, son algunas de las causas que intervienen al momento del establecimiento del cultivo, evitando que en la práctica se logre una planta establecida a partir de cada semilla. Al establecer el coeficiente de logro se deberán considerar las causas mencionadas anteriormente.

- Calculo de la cantidad de semillas necesarias para sembrar 1 ha:

Finalmente la cantidad de semillas necesaria se desprende de la siguiente ecuación:

$$kg \text{ semilla } ha^{-1} = \frac{\frac{pl \text{ objetivo}}{m^2} \times \frac{peso \ 1000 \text{ semillas } (g)}{1000 \text{ pl potenciales}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{10000 \text{ m}^2}{ha}}{\frac{valor \text{ cultural } (\%)}{100} \times \frac{coeficiente \text{ de logro } (\%)}{100}}$$

(Bobadilla et al, 2008)

BIBLIOGRAFÍA

- ABELEDO, L. G; KRUK, B. C; SAVIN, R. 2003. Madurez y cosecha de los cultivos. En: Satorre E. H, Benech Arnold R. L, Slafer G. A, de la Fuente E. B, Miralles D. J, Otegui M. E, Savin R. eds. Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo. 1ª edición. Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. Cap. 7: 715 – 738. ISBN 950-29-0713-2
- ABRAHAM, M. A; GRAMICCI, J. P. 2007. Riego en Argentina (2da aproximación). Distribución del área regada a escala provincial y regional. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Peca (SAGyP). Subsecretaría de Agricultura, Ganadería y Forestación. Dirección Nacional de Producción Agropecuaria y Forestal. Dirección de Agricultura. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP).
- AGENCIA DE EXTENSIÓN RURAL TREVELIN (AER Trevelin - EEA INTA Esquel). 2011. Encuesta Agrícola 2011 y evaluación de la calidad de forrajes
- ALBRIZIO, R; TODOVORIC, M; MATIC, T; STELLACCI, A. M. 2010. Comparing the interactive effects of water and nitrogen on durum wheat and barley grown in a Mediterranean environment. Field Crops Research 115: 179 – 190.
- AL-KAISI, M; BERRADA, A; STACK, M. 1997. Evaluation of irrigation scheduling program and spring wheat yield response in Southwestern Colorado. Agricultural Water Management 34: 137-148.
- ÁLVAREZ, R. 2007. Fertilización de trigo. En: Fertilización de cultivos de granos y pasturas. 2ª edición. Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. Cap 7: 91 – 120. ISBN 950-29-0869-4.
- ÁLVAREZ, R. 2001. Materia Orgánica. En: Fertilidad de Suelos, Volumen 2. 2ª Edición. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Secretaría de Publicaciones CEABA. p. 1 – 37. ISBN: 950-43-9817-0.
- ÁLVAREZ, R. 2001 b. Dinámica del nitrógeno en agroecosistemas. En: Fertilidad de Suelos, Volumen 2. 2ª Edición. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Secretaría de Publicaciones CEABA. p. 38 – 64. ISBN: 950-43-9817-0.
- AMICO, I. L. 2010. Efecto de las variables ambientales sobre el crecimiento y productividad de *Populus nigra* 'italica' en plantaciones lineales en distintos

sitios del noroeste de Chubut. Doctorado en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. 201 pág.

- AMICO, I; LUGANO, L; TEJERA, L. E. 2001. Datos climáticos – Campo Experimental Trevelin de la E.E.A. Esquel. Carpeta de información técnica de la EEA Esquel (Chubut) Sección: Misceláneas, pág 1 – 4.
- AMIGONE, M; CHIACCHIERA, S; KLOSTER, A; BERTRAM, N; CONDE, M. B; MASIERO, B. 2011. Avena, cebada forrajera, centeno, triticale y raigrás anual. Producción de forraje en el sudeste cordobés. Sitio Argentino de Producción Animal. Producir XXI, Bs. As, 19 (231): 24 – 34. www.produccion-animal.com.ar
- ANDERSEN, S. 1952. Methods for determining stages of development in barley and oats. *Physiology of Plant* 5: 199 – 210.
- ANDRADES RODRÍGUEZ, M. 2012. Práctica n° 4: Determinación de conductividad eléctrica de las soluciones. En: *Prácticas de Edafología y Climatología. Material didáctico Agricultura y Alimentación 5. 2ª edición.* Servicio de Publicaciones, Universidad de La Rioja [España]. 72 p (versión digital). p19 – 22. ISBN: 978-84-695-2798-6.
- ANDRADES RODRÍGUEZ, M. 2012 b. Práctica n° 9: Determinación del Carbono de la Materia Orgánica. En: *Prácticas de Edafología y Climatología. Material didáctico Agricultura y Alimentación 5. 2ª edición.* Servicio de Publicaciones, Universidad de La Rioja [España]. 72 p (versión digital). p 33 – 36. ISBN: 978-84-695-2798-6.
- ANDRADES RODRÍGUEZ, M. 2012 c. Práctica n° 11: Determinación del Nitrógeno. En: *Prácticas de Edafología y Climatología. Material didáctico Agricultura y Alimentación 5. 2ª edición.* Servicio de Publicaciones, Universidad de La Rioja [España]. 72 p (versión digital). p 41 – 44. ISBN: 978-84-695-2798-6.
- ALI, M. H; HOQUE, M. R; HASSAN, A. A; KHAIR, A. 2007. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity and economic returns of wheat. *Agricultural Water Management* 92: 151 – 161.
- ALI, M. H; TALUKDER, M. S. U. 2008. Increasing water productivity in crop production – A synthesis. *Agricultural Water Management* 95: 1201 – 1213.
- ALLEN, R; PEREIRA, L. S; RAES, D; SMITH, M. 2006. Determinación de la ET_0 . En: *Evapotranspiración del cultivo – Estudio FAO Riego y Drenaje 56.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Cap 4: 65 – 79. ISBN 92-5-304219-2.
- ALLEN, R; PEREIRA, L. S; RAES, D; SMITH, M. 2006 b. ET_c bajo condiciones de estrés hídrico. En: *Evapotranspiración del cultivo – Estudio*

FAO Riego y Drenaje 56. Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación. Roma. Cap 8: 161 – 182. ISBN 92-5-304219-2.

- ARGOTE, G; HALANOCA, M. 2007. Evaluación y selección de gramíneas forrajeras tolerantes a condiciones climáticas del altiplano de Puno. APPA – ALPA – Cusco, Perú. Sitio Argentino de la Producción Animal. www.produccion-animal.com.ar
- ASAY, K. A; JENSEN, K. B; WALDRON, B.L; HAN, G; JOHNSON, D.A; MONACO, T. A. 2002. Forage Quality of Tall Fescue across an Irrigation Gradient. *Agronomy Journal* 94: 1337 – 1343.
- AVELLANEDA, M. O; BERMEJILLO, A. I; MASTRANTONIO, L. E. 2004. Aguas de riego. Calidad y evaluación de su factibilidad de uso. 1ª edición. Mendoza: EDIUNC Serie: Estudios / El agua n° 37. 160 p.
- BALZARINI, M. G; GONZÁLEZ, L; TABLADA, M; CASANOVES, F; DI RIENZO, J. A; ROBLEDO, C. W. 2008. InfoStat - Software Estadístico - Manual del Usuario. Editorial Brujas. Córdoba, Argentina.
- BARROS, V; SIAN, B; MATTIO, H. 1979. Campo de precipitaciones en la Provincia de Chubut (período 1931 – 1960). *Geoacta* 10: 175 – 192.
- BAMUTAZE, Y; TENYWA, M. M; MAJALIWA, M. J. G; VASNAKER, V; BAGOORA F; MAGUADA, M; OBANDO, J; WASIGE, J. E. 2010. Infiltration characteristics of volcanic sloping soil on Mt. Elgon, Eastern Uganda. *Catena* 80: 122 – 130.
- BÁSCONES MERINO, E. 2004. Análisis de suelo y consejos de abonado. Cuaderno didáctico. Editado por la Diputación de Valladolid [España]. 65 p. Depósito legal VA-991-2004. p 21 – 22.
- BEHERA, S. K; PANDA, R. K. 2009. Integrated management of irrigation water and fertilizers for wheat crop using field experiments and simulation modeling. *Agricultural Water Management* 96: 1532 – 1540.
- BESOAIN, E. 1985. Los suelos. En: Toso, J. Suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Ministerio de Agricultura, Santiago de Chile, Chile. Pág: 25 – 95.
- BESOAIN, E. 1985 a. Capítulo 4: Minerales secundarios del suelo: silicatos cristalinos. En: Mineralogía de arcillas de suelos. IICA – Serie de libros y materiales educativos n° 60. 1260 p. San José, Costa Rica. ISBN 92-9039-067-0. p. 311 – 532
- BESOAIN, E. 1985 b. Capítulo 5: Aluminosilicatos no cristalinos y paracristalinos del suelo. En: Mineralogía de arcillas de suelos. IICA – Serie de libros y materiales educativos n° 60. 1216 p. San José, Costa Rica. ISBN 92-9039-067-0. p. 533 – 642.

- BESOAIN, M. E. 1970. Propiedades físico – químicas del alofán. En: Curso de mineralogía de suelos. Instituto Interamericano de Cs. Agrícolas de la OEA – Centro de Enseñanza e Investigación Tropical. Turrialba, Costa Rica. p. 188 – 200.
- BESSEMBINDER, J. J. E; LEFFELAAR, P. A; DHINDWAL, A. S. PONSIOEN, T. C. 2005. Which crop and which drop, and the scope for improvement of water productivity. *Agricultural Water Management* 73: 113 – 130.
- BLACK, C.A. 1965. *Methods of soil analysis: Part 2.* (Ed.)p.: 1003 - 1009.
- BOBADILLA, S. E; LEXOW, G. 2012. Ensayo de forrajeras en el Valle 16 de Octubre, Chubut. INTA, Estación Experimental Agroforestal Esquel, Argentina. Carpeta de información técnica de la EEA Esquel (Chubut) Sección: Agricultura, pág 89 – 96.
- BOBADILLA, S. E.; LEXOW, G; DELLACANONICA, C. 2008. *Manual de alfalfa.* Ediciones INTA.
- BONACHELA, S; ORGAZ, F; FERERES, E. 1995. Winter cereals grown for grain and for the dual purpose of forage plus grain: II Water use and water – use efficiency. *Fields Crops Research* 44: 13 – 24.
- BOUYOUCOS, G. J. 1927. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. *Soil Sci.* 23:343-353.
- BOUWER, H. 1986. Intake rate: cylinder infiltrometer. *Methods of soil analysis, part 1:ASA Monograph, vol. 9,* pp. 825– 843.
- BOWER, C. A; REITEMEIER, R. F; FIREMAN, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science* 73: 251 - 261
- BREMMER, J. M. 1960. Determination of Nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *J.Agr.Sci.* 55:1-23.
- BUDUBA, C. G. 2006. Modificaciones en el pH y contenido de materia orgánica en suelos del ecotono de la estepa / bosque andino patagónico por implantación de pino ponderosa. Doctorado en Ciencias Agrarias. Universidad de Buenos Aires, Escuela para Graduados Alberto Soriano, Facultad de Agronomía. 175 pág
- CARMÍ, A; AHARONI, Y; EDELSTEIN, M; UMIEL, N; HAGILADI, A; YOSET, E; NIKBACHAT, M; ZENOU, A; MIRON, J. 2006. Effects of irrigation and plant density on yield, composition and in vitro digestibility of a new forage sorghum variety, Tal at two maturity stages. *Animal Feed Science and Technology* 131: 120 – 132.

- CÁTEDRA DE ESTADÍSTICA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES (FAUBA). 2000. Modelos Estadísticos. Apunte 1. Secretaría de Publicaciones del Centro de Estudiantes de FAUBA. p: 27 – 39.
- CHAMBOULEYRON, J. L. 1980. El riego en diferentes cultivos. En: Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería – Fascículo 4 – 3 – 2 Riego y Drenaje. Tomo II. 2ª edición. Editorial ACME S.A.C.I. Cap. 6: 155 – 181.
- COLMET DÂAGE, F. 1993. Principales áreas forestales de Argentina. Productividad elevada y sostenida: dos características favorables en el Cono Sur. Suelos Forestales 10: 257 – 269.
- COLMET DÂAGE, F; LANCIOTTI, M. L; MARCOLIN, A. 1995. Importancia forestal de los suelos volcánicos de la Patagonia Norte y Central. Climo-topo-secuencias de suelos y vegetación. INTA. EEA Bariloche. Centro Regional Patagonia Norte – SAGPyA. 27 pág.
- COLMET DÂAGE, F; MARCOLIN, A; LÓPEZ, C; LANCIOTTI, M; AYESA, J; BRAN, D; ANDENMATTEN, E; BROQUEN, P; GIRARDIN, J; CORTÉS, G; IRRISARRI, J; BESOAIN, E; SADZAWKA, A; SEPÚLVEDA, G; MASSARO, S; MILLOT, G; BOULEAU, P. 1988. Características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de la cordillera y precordillera del Norte de la Patagonia. Bariloche. Convenio INTA – ORSTOM. S.C. de Bariloche, Río Negro. 167 p.
- CONTRERAS – GOVEA, F. E; ALBRECHT, K. A. 2006. Forage Production and Nutritive Value of Oat in Autumn and Early Summer. Crop Science 46: 2382 – 2386.
- COSENTINO, D; GIARDINA, E; GIUFFRÉ, L; BESASATEGUI, L; LAMAS, Ma. del C; PAMA, M; GONZALEZ, M; ARRIGO, N; HEREDIA; N; LAVIGNOLLE, P. 1994 b. Trabajo práctico N° 17. Nitrógeno del suelo. En: Cuaderno de Trabajos Prácticos – Edafología. Versión 1.1. p 71 – 74. ISSN 0327-8603.
- COSENTINO, D; GIARDINA, E; GIUFFRÉ, L; BESASATEGUI, L; LAMAS, Ma. del C; PAMA, M; GONZALEZ, M; ARRIGO, N; HEREDIA; N; LAVIGNOLLE, P. 1994 c. Trabajo práctico N° 20. Suelos halomórficos. En: Cuaderno de Trabajos Prácticos – Edafología. Versión 1.1. p. 80 – 94. ISSN 0327-8603.
- CUESTA MUÑOZ, P. A; VILLANEDA VIVAS, E. 2005. El análisis de suelos: toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera. En: Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones Caribe y Valles interandinos. 1ª Edición. Bogotá, Colombia. Publicación de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Arteprint Ltda. Cap. 1: p. 1 – 12. ISBN 958-8210-79-8

- DAHLGREN, R. A; SAIGUSA, M; UGOLINI, F. C. 2004. The Nature, Properties and Management of Volcanic Soils. *Advances in Agronomy*. Vol 82: 113 – 182.
- DARDANELLI, J; COLLINO, D; OTEGUI, M. E; SADRAS, V. O. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: Satorre E. H, Benech Arnold R. L, Slafer G. A, de la Fuente E. B, Miralles D. J, Otegui M. E, Savin R. eds. *Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo*. 1ª edición. Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. Cap. 16: 375 – 440. ISBN 950-29-0713-2.
- DAVIES, J. G. 1994. Managing Plant Nutrients for Optimum Water Use Efficiency and Water Conservation. *Advances in Agronomy* 53: 85 -120.
- DAVIES, B E. 1974. Loss-on ignition as an estimate of soil organic matter. *Soil Sci. Proc.* 38: 150.
- DE LA VEGA, A. J; DE LA FUENTE, E. B. 2003. Elección de genotipos. En: Satorre E. H, Benech Arnold R. L, Slafer G. A, de la Fuente E. B, Miralles D. J, Otegui M. E, Savin R. eds. *Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo*. 1ª edición. Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. Cap. 14: 317 – 349. ISBN 950-29-0713-2
- DI MARCO, O. 2011. Estimación de calidad de los forrajes. *Producir XXI*, Bs. As., 20 (240): 24-30.
- DIRECCIÓN GERANAL DE ESTADÍSTICAS GENERALES Y CENSOS DE CHUBUT. 2002. www.estadistica.chubut.gov.ar (fecha de consulta: 15 de mayo 2013)
- DI RIENZO, J.A; CASANOVES, F; BALZARINI, M. G; GONZALEZ, L; TABLADA, M; ROBLEDO, C.W. 2010. *InfoStat versión 2010*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- DOORENBOS, J; KASSAM, A. H. 1979. Part B: Crop and Water - Wheat. En: *Yield response to water*. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 33. p. 164 – 170. ISBN 92-5-100744-6.
- DÖRNER, J; DEC, D; FEEST, E; VÁSQUEZ, N; DÍAZ, M. 2012. Dynamics of soil structure and pore functions of a volcanic ash soil under tillage. *Soil & Tillage Research* 125: 52 – 60.
- DOW AROSCIENCES ARGENTINA. 2011. <http://www.dowagro.com/ar/herbicidas/barbecho.07/11/11>

- DUMONT, L. J. C; LANUZA, A. 1990. Producción y composición química de la Avena (*Avena sativa* L.), en diferentes estados de desarrollo. *Agricultura Técnica (Chile)* 50 (1): 1-6.
- EGLI, D. B. 2004. Seed - Fill Duration and Yield of Grain Crops. *Advances in Agronomy* 83: 243 – 279.
- FAN, T; STEWART, B. A; PAYNE, W. A; WANG, Y; SONG, S; LUO, J; ROBINSON, C. A. 2005. Supplemental Irrigation and Water - Yield Relationships for Plasticulture Crops in the Loess Plateau of China. *Agronomy Journal*. 97: 177 – 188.
- FAO, ISRIC, ISSS. 1998. World Reference Base for Soil Resources. FAO, Rome.
- FULKERSON, W. J; NEAL, J.S; CLARK, C. F; HORADAGODA, A; NANDRA, K. S; BARCHIA, I. 2007. Nutritive value of forage species grown in the warm temperate climate of Australia for dairy cows: Grasses and legumes. *Livestock Science* 107: 253 – 264.
- GAGGIOTTI, M; COMERÓN, E. A; GALLARDO, M. R. 2008. Tabla de composición química de alimentos para rumiantes. Centro Regional Santa Fe – EEA Rafaela. Proyecto Lechero 2008. Ediciones INTA. p: 21 – 23.
- GALLARDO, M; VALTORTA S. 2007. Factores nutricionales y ambientales que afectan la calidad composicional de la leche bajo condiciones de pastoreo. En: Taverna, M. A. Manual de Referencias técnicas para el logro de leche de calidad. 3ª edición. Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. Cap. 4: 115 – 130. ISBN N°: 987-521-165-6.
- GALLEGO, J. J; PARRA, G. A; MIÑÓN, D. P. BARBARROSA, R. A. 2011. Producción de forraje de avena bajo riego en el Valle Inferior del Río Negro. En: INTA Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro. Valle Inferior INFORMA. Febrero 2011. Año 6 n° 45.
- GARABET, S; WOOD, M; RYAN, J. 1998. Nitrogen and water effects on wheat yield in a Mediterranean – type climate I. Growth, water – use and nitrogen accumulation. *Field Crops Research* 57: 309 – 318.
- GARCÍA DEL MORAL, M. B; GARCÍA DEL MORAL, L. F. 1995. Tiller production and survival in relation to grain yield in winter and spring barley. *Field Crops Research* 44: 85 – 93.
- GARCÍA DEL MORAL, L. F; RHARRABTI, Y; VILLEGAS, D; ROYO, C. 2003. Evaluation of grain yield and its components in Durum Wheat under Mediterranean conditions. *Agronomy Journal* 95: 266 – 274.

- GARDNER, J. S; HESS, W. M; TRIONE, E. J. 1985. Development of a young wheat spike: a SEM study of Chinese Spring wheat. *American Journal of Botany* 72:548 – 559.
- GEERTS, S; RAES, D. 2009. Deficit irrigation as an on – farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*. 96: 1275 – 1284.
- GONZÁLEZ, A.S. Programa de Servicios Agrícolas Provinciales (PROSAP). 2009. Informe de avance: Desarrollo y Ampliación del Área Irrigable de la Cuenca del Río Futaleufú. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Ministerio de Producción de Chubut.
- GONZÁLEZ, Y. M; CLARO, M. D. 2002. Recurso suplementario de invierno para el riego y el secano– *Tierra Adentro* 45: 32-33.
- GOODCHILD, A. V. 1997. Effect of rainfall and temperature on the feeding value of barley straw in semi – arid Mediterranean environment. *J. Agric. Science Camb.* 129: 353 – 366.
- GRASSI, C J. 1998. Infiltración , ascenso capilar y redistribución de agua en el suelo. En: *Fundamentos de riego*. CIDIAT, Mérida, Venezuela. Cap 4: 65 – 96.
- GUITART FITÉ, E. 2008. Caracterización de la Ganadería Bovina en Patagonia Sur. Carpeta de información técnica de la EEA Esquel (Chubut) Sección: Economía, pág 37 – 42
- GUTTIERI, M. J; McLEAN, R; STAEK, J. C; SOUZA, E. 2005. Managing Irrigation and Nitrogen Fertility of Hard Spring Wheats for Optimum Bread and Noodle Quality. *Crop Science* 45: 2049 – 2059.
- HAN, Z. J; YU, Z. W; WANG, D; ZHANG, Y. L. 2010. Effects of Supplemental Irrigation Based on Testing Soil Moisture on Dry Matter Accumulation and Distribution and Water Use Efficiency in Winter Wheat. *Acta Agronomica Sinica* 36 (3): 457 – 465.
- HOWELL, T. A. 2001. Enhancing Water Use Efficiency in Irrigated Agriculture. *Agronomy Journal* 93: 281 – 289.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS (INDEC). Censo Agropecuario 2002. www.indec.mecon.ar
- IRISARRI, J. 2000. La Propuesta de la reclasificación de los Andepts de Argentina, de acuerdo al Orden Andisoles. Workshop Soil Taxonomy. INTA, AICET, AACS. Pág: 18- 27.
- JABOTA, S. K; SOOD, A; CHAHAL, G. B. S; CHOUDHURY, B. U. 2006. Crop water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L) – wheat

(*Triticum aestivum* L) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. *Agricultural Water Management* 84: 137 – 146.

- JAURENA, G; DANELÓN, J. L. 2001. Tabla de Composición de los Alimentos Para Rumiantes de la Región Pampeana. Ed. Hemisferio Sur. p: 42 - 43
- JENSEN, K.B, ASAY, K.H, WALDRON, B.L. 2001. Dry Matter Production of Orchardgrass and Perennial Ryegrass at Five Irrigation Levels. *Crop Science* 41: 479 – 487.
- JOBBÁGY, E. G; PARUELO, J. M; LEÓN, R. J. C. 1995. Estimación del régimen de precipitaciones a partir de la distancia a la cordillera en el noroeste de la Patagonia. *Ecología Austral*: 5: 47 – 53.
- KANG, S; ZHANG, L; LIANG, Y; HU, X; CAI, H; BINJIE, G. 2002. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat in the Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management* 55: 203 – 216.
- KELLER, J; BLIESNER, R. D. 1990. Types of Sprinkle Systems. En: *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Chapman & Hall – An avi Book Uan Nostrand Reinhold. New York Cap. 4: 45 – 61.
- KELLER, J; BLIESNER, R. D. 1990 b. Sprinkler Irrigation Planning Factors. En: *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Chapman & Hall – An avi Book Uan Nostrand Reinhold. New York Cap. 5: 62 – 85.
- KELLER, J; BLIESNER, R. D. 1990 c. Set Sprinkler Uniformity and Efficiency. En: *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Chapman & Hall – An avi Book Uan Nostrand Reinhold. New York Cap. 6: 86 – 122.
- KELLER, J; BLIESNER, R. D. 1990 d. Traveling Sprinkler Design. En: *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Chapman & Hall – An avi Book Uan Nostrand Reinhold. New York Cap. 13: 275 – 306.
- LANDES, A; PORTER J.R. 1990. Development of the inflorescence in wild oats. *Annual Journal of Bottany* 66: 41 – 50.
- LAURIAULT, L. M; KIRKSEY, R. E. 2004. Yield and Nutritive Value of Irrigated Winter Cereal Forage Grass – Legume Intercrops in the Southern High Plains, USA. *Agronomy Journal* 96: 352 – 358.
- LI, J; INANAGA S; LI, Z; ENEJI, A. E. 2005. Optimizing irrigation scheduling for winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 76: 8 – 23.
- LI Q; DONG, B; QIAO, Y; LIU, M; ZHANG, J. 2010. Root growth, available soil water, and water – use efficiency of winter wheat under

different irrigation regimes applied at different growth stages in North China. *Agricultural Water Management* 97: 1676 – 1682.

- LI W; LI W; LI Z. 2004. Irrigation and fertilizer effects on water use and yield of spring wheat in semi - arid regions. *Agricultural Water Management* 67: 35 – 46.
- LIN, Y; ZENG, Z; REN, C; HU, Y. 2012. Water use Efficiency and Physiological Responses of Oat Under Alternate Partial Root – zone Irrigation in the Semiarid Areas of Northeast China. *Procedia Engineering* 28: 33 – 42.
- LINNEO, C. 1753. *Species Plantarum*. Tomos 1 y 2. Primera edición. Edit. Laurentii Salvii. Estocolmo, Suecia.
- MADDONNI, G. A; RUIZ, R. A; VILARIÑO, P; GARCIA DE SALAMONE, I. 2003. Fertilización en los cultivos para grano. En: Satorre E. H, Benech Arnold R. L, Slafer G. A, de la Fuente E. B, Miralles D. J, Otegui M. E, Savin R. eds. *Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo*. 1ª edición. Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. Cap. 19: 501 – 562. ISBN 950-29-0713-2
- MAGyP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Presidencia de la Nación) – UCAR - PROSAP. 2011. Razones para una estrategia de manejo integral del agua para riego. Argentina. www.prosap.gov.ar
- MALDONADO, I. I. 2004. Requerimientos de agua en la producción de trigo. En: *Boletín INIA* No. 114. Cap. 7: 143 – 158.
- MARINO, M. A; MAZZANTI A; ASSUERO, S. G; GASTAL, F; ECHEVERRÍA, H. E; ANDRADE, F. 2004. Nitrogen Dilution Curves and Nitrogen Use Efficiency During Winter – Spring Growth of Annual Ryegrass. *Agronomy Journal* 96: 601 – 607.
- MARTINIELLO, P; PAOLETTI, R; Berardo N. 1997. Effect of phenological stages on dry matter and quality components in Lucerne. *European Journal of Agronomy* 6: 79 – 87.
- MARTINEZ, M. F; ARELOVICH, H. M; WERHAHNE, L. N. 2010. Grain yield, nutrient content and lipid profile of oat genotypes grown in a semiarid environment. *Field Crops Research*. 116: 92 – 100.
- McCORMICK, J. S; SULK, R. M; BARKER, D. J; BEUERLEIN, J. 2006. Yield and Nutritive Value of Autumn – seeded Winter – hardy and Winter – sensitive Annual Forages. *Crop Science* : 46: 1981 – 1989.
- MENDEZ CASARIEGO, H. 2008. Sistema de soporte de decisiones para la producción agrícola de los valles cordilleranos patagónicos. Ed. INTA, Buenos Aires [CD-ROM].

- MERRIAM, J. L; KELLER, J. 1978. Need for System Evaluation. En: Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management. 3a edición. Utah State University. Logan, Utah. Cap. 1: 1 – 17.
- MERRIAM, J. L; KELLER, J. 1978 b. Traveling Sprinkler Irrigation. En: Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management. 3a edición. Utah State University. Logan, Utah. Cap. 6: 97 – 110.
- MIÑÓN, D. P. GALLEGO, J. J; MURRAY, F. BARBARROSA, R. 2009. Producción de sorgos para reserva de forraje (henificación / ensilaje) en le Valle inferior de Río Negro: Campaña 2008/2009. En: Valle Inferior Informa [en línea]. Ediciones INTA. 4 (21). [www.inta.gov.ar/valleinferior/info/hdivulg.htm], [consulta: 05 de febrero de 2012].
- MIRALLES, D. J; ARISNABARRETA, S; ALZUETA, I. 2011. Desarrollo ontogénico y generación del rendimiento. En: Miralles D. J, Benech – Arnold R. L, Abeledo G eds. Cebada Cervecera. Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. Cap. 1: 1 – 34. ISBN 978-987-9260-84-5.
- MIRALLES, D. J; WINDAUER, L. B; GÓMEZ, N.V. 2003. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos. En: Satorre E. H, Benech Arnold R. L, Slafer G. A, de la Fuente E. B, Miralles D. J, Otegui M. E, Savin R. eds. Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo. 1ª edición. Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. Cap. 5: 60 – 98. ISBN 950-29-0713-2
- MONTAZAR, A; SADEGUI, M. 2008. Effects of applied water and sprinkler irrigation uniformity on alfalfa growth and hay yield. Agricultural Water Management 95: 1279 – 1287
- NEAL, J.S, FULKERSON, W.J, HACKER, R.B. 2011. Differences in water use efficiency among annual forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. Agricultural Water Management 98: 759 – 774.
- NERIS, J; JIMÉNEZ, C; FUENTES, J; MORILLAS, G; TEJEDOR, M. 2012. Vegetation and land – use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain). Catena 98: 55 – 62
- OLSEN, S. R; COLE, D. V; WATANABE, F. S; DEAN, L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S.D.A. Circular N° 939. pp. 19.
- ORTIZ, E. 1976. Materia orgánica y nitrógeno en suelos de Patagonia. IDIA Suplemento 33: 79 – 83.

- OWEIS, T; MUSTAFA, P; RYAN, P. Management alternatives for improved durum wheat production under supplemental irrigation in Syria. 1999. *European Journal of Agronomy* 11: 255 – 266.
- PALTA, J.A. 2010. Baja eficiencia de absorción de Nitrógeno en trigo ¿ podemos mejorarlo? En: Miralles, D. J; Aguirrezábal, L. N; Otegui, M. E; Kruk, B; Izquierdo, N. *Avances en ecofisiología de cultivo de granos*. Editorial FAUBA. Cap. 8: 169 – 179. ISBN 9789502912158
- PASCUAL ESPAÑA, B. 2008. Fundamentos del riego. En: *Riegos de gravedad y a presión*. 1ª edición. Alfaomega Grupo Editor. Mexico. Cap. 1: 9 – 64. ISBN:978-970-15-1421-4
- PASCUAL ESPAÑA, B. 2008 b. Riego por aspersión. En: *Riegos de gravedad y a presión*. 1ª edición. Alfaomega Grupo Editor. Mexico. Cap. 4: 173 – 252. ISBN:978-970-15-1421-4
- PASSIOURA, J. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce – from breeding to field management. *Agricultural Water Management* 80: 176 – 196.
- PAYERO, J. O; TARKALSON, D. D; IRMAK, S; DAVIDSON, D. 2008. Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. *Agricultural Water Management* 95: 895 – 908.
- PELTONEN – SAINIO, P; JAUHAINEN, L; NISSILÄ, E. 2012. Improving cereal protein yields for high latitude conditions. *European Journal of Agronomy* 39: 1 – 8.
- PELTONEN – SAINIO, P; JAUHAINEN, L; RAJALA, A; MUURINEN, S. 2009. Tiller traits of spring cereals under tiller – depressing long day conditions. *Field Crops Research* 113: 82 – 89.
- PELTONEN - SAINIO, P; JÄRVINEN, P. 1995. Seeding rate effects on tillering, grain yield, and yield components of oat at high latitude. *Field Crops Research* 40: 49 – 56.
- PELTONEN – SAINIO, P; KANGAS, A; SALO Y; JAUHAINEN, L. 2007. Grain number dominates grain weight in temperate cereal yield determination: Evidence based on 30 years of multi – location trials. *Field Crops Research* 100: 179 – 188.
- PELTONEN – SAINIO, P; PEKKALA, T. 1993. Numeric codes for developmental stages of oat apex in the growing conditions of Southern Finland. *Agricultural Science of Finland* 2: 329 – 336.

- PELTONEN – SAINIO, P; RAJALA, A. 2007. Duration of vegetative and generative development phases in oat cultivars since 1921. *Field Crops Research* 101: 72 – 79
- PEREYRA, J. A; ABADIC, L.A. 1966. Las lluvias en el Oeste de Chubut. INTA, Centro Reginal Patagónico. 67 pág.
- PHILIPP, D; ALLEN, V. G; MITCHELL, R. B, BROWN, C.P, WESTER, D. B. 2005. Forage Nutritive Value and Morphology of Three Old World Blustems under a Range of Irrigation Levels. *Crop Science* 45: 2258 – 2268.
- PICONE, L. I. 2006. Propiedades del suelo relacionadas con la fertilidad. En: Echeverría, H. E; García, F. O. eds. *Fertilidad de Suelo y Fertilización de Cultivos.. 1ª Edición*. Buenos Aires, Argentina. Ediciones INTA. p. 3 – 18.
- PORDOMINGO, A. J. 2005. Alimentación. En: *Feedlot – Alimentación, diseño y manejo*. Ediciones INTA. Publicación Técnica nº 62. Anguil, Argentina. Cap. 2:12 – 115. ISSN: 0325-2132
- POULENARD, J; PODWOJEWSKI, P; JANEAU, J. L; COLLINET, J. 2001. Runoff and soil erosion under rainfall simulation of Andisols from the Ecuadorian Páramo: effect of tillage and burning. *Catena* 45: 185 – 207.
- POWELL, R. D; KARDOS, L. T. 1968. Effect of Moisture and Harvests on Efficiency of Water Use by Ten Forage Crops. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* Vol 32: 871 – 874.
- PRYSTUPA, P. 2007. Fertilización de cebada cervecera. En: *Fertilización de cultivos de granos y pasturas. 2ª edición*. Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. Cap 8: 121 – 130. ISBN 950–29–0869–4.
- QGis ® (Quantum GIS) Version 1.8.0 “Lisboa”. <http://qgis.org>. Bajo licencia Pública General (GNU) <http://www.gnu.org/licenses>
- QURESHI, Z. A; NEIBLING, H. 2009. Response of two – row malting spring barley to water cutoff under sprinkler irrigation. *Agricultural Water Management* 96: 141 – 148.
- RICHTER, M; CONTI, M; MACCARINI, G. 1982. Mejoras en la determinación de catión es intercambiables y capacidad de intercambio catiónico en los suelos. *Rev.Fac. de Agronomía* 3(2): 145 - 155.
- ROJAS, C. G. 1987. Avenas doble propósito: claves para sacarles el máximo. *Tierra Adentro*. Secc: Tecnología práctica: ganadería y praderas. 32 – 34.
- RODRÍGUEZ, M. B. 2008. Fertilidad de suelo y nutrición de las plantas. En: Melgar, R; Díaz Zorita, M. eds. *Fertilización de cultivos y pasturas – 2º edición ampliada y actualizada. 2ª edición*. Ed. Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires, Argentina. Parte General, Cap. 2: 37 – 49. ISBN: 978-950-504-597-6.

- ROSTAMZA, M; CHAICHI, M. R; JAHANSOUZ, M. R; ALIMADADI, A. 2011. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management* 98: 1607 – 1614.
- SAMMIS, T. W. 1980. Comparison of Sprinkler, Trickle, Subsurface, and Furrow Irrigation Methods for Row Crops. *Agronomy Journal* 72 (5): 701 – 704.
- SÁNCHEZ BLANCO, M. J; TORRECILLAS, J. 1995. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de riego deficitario controlado en cultivos leñosos. En: *Riego Deficitario Controlado*. Ediciones Mundi – Prensa. España. Cap. 2: 43 – 66.
- SCHINELLI CASARES, T. 2009. Paraje Aldea Escolar, Trevelin, Chubut: Variaciones registradas en la última década en los principales parámetros meteorológicos. INTA Estación Experimental Agroforestal Esquel. Carpeta de información técnica de la EEA Esquel (Chubut) Sección: Medio Ambiente, pág 57 – 58.
- SECCIÓN DE INFORMACIÓN AGROMETEOROLÓGICA: CLIMA on-line INTA Esquel - www.inta.gov.ar/esquel/info/meteorologia, Trevelin.
- SEGAT, A. L. 1995. Nitrogeno del suelo. En: *Entregas de Edafología*. Segunda parte. Secretaría de Publicaciones CEABA (Centro de Estudiantes de Agronomía de Buenos Aires). Cap. 6: Ciclos biogeoquímicos.
- SEPASKHAH, A. R; GHARAMAN, B. 2004. The effects of Irrigation Efficiency and Uniformity Coefficient on Relative Yield and Profit for Deficit Irrigation. *Biosystems Engineering* 87(4): 495 - 507
- SEZEN, S. M.; YAZAR A. 2006. Wheat yield response to line – source sprinkler irrigation in the arid Southeast Anatolia region of Turkey. *Agricultural Water Management* 81: 59 – 76.
- SHANAHAN, J.F; DILLON, M.A. 1995. Oat production. *Crop Series: Production n° 0.119*. Colorado State University Cooperative Extension.
- SHOJI, S; NANZYO, M; DAHLGREN, R. A. 1993. Volcanic ash soil. Genesis, properties and utilization. *Developments in Soil Science*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 288 p.
- SIIA (Sistema Integrado de Información Agropecuaria). Series históricas Agrícolas 2010-2011. www.siiia.gov.ar (fecha de consulta: 15 de mayo 2013)
- SLAFER, G. A; MIRALLES, D. J; SAVIN, R; WHITECHURCH, E. M; González F. G. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo. En: Satorre E. H, Benech Arnold R. L,

Slafer G. A, de la Fuente E. B, Miralles D. J, Otegui M. E, Savin R. eds. Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo. 1ª edición. Editorial Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires. Cap. 7: 100 – 132. ISBN 950-29-0713-2

- SOIL QUALITY INSTITUTE. 2001. Soil Quality test kit Guide. USDA-Natural Resources Conservation Service. Washington D.C. 82 p
- SOIL SURVEY STAFF. 2010. Keys to Soil Taxonomy, 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436
- SONEGO, M; MOOT, D.J; JAMIESON, P.D; MARTIN, R. J. SOTT, W. R. 2000. Apical development in oats predicted by leaf stage. Field Crops Research 65:79 – 86.
- SQUELLA, N. F; ORMEÑO N. J.. 2007. La avena como cultivo forrajero. Técnicas para producción ovina para el secano mediterráneo de la VI Región. Cap 2: 19 – 36.
- STEDUTO, P; HSIAO, T. C; FERERES, E; RAES, D. 2012. Yield Response to water of herbaceous crops: the aquacrop simulation model. Herbaceous crops: Wheat. En: Crop Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper 66. Roma, Italia. Cap.3: 92 – 104. ISSN 0254-5284.
- SWEENEY, D. W; LONG, J. H; KIRKHAM, M. B. 2003. A single Irrigation to Improve Early Maturing Soybean Yield and Quality. Soil Science Society – American Journal 67: 235 – 240.
- SWENNENHUIS, J; SMITH, M; MUÑOZ, G; VAN HALSEMA, G; MARAUX, F; IZZI, G; WAHAJ, R. 2009. Cropwat 8.0 para la Unidad de Fomento y Gestión de Aguas de la FAO. Roma, 2009.
- SWINDALE, L. 1969. B.10: Las propiedades de suelos derivados de cenizas volcánicas. En: Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina 6 – 13 julio de 1969. Centro de Enseñanza e Investigación del IICCA. Turrialba, Costa Rica. S5AN-L1F-48B0. 978 p. p. B.10.1-B.10.9
- TARJUELO MARTIN - BENITO, J. M. 2005. Cañones de riego por aspersión. En: El riego por aspersión y su tecnología. 3ª edición. Ediciones Mundi- Prensa. Cap. 4: 195 – 218.
- TARJUELO MARTÍN - BENITO, J. M. 2005 b. Evaluación y mejora de sistemas de riego. En: El riego por aspersión y su tecnología. 3ª edición. Ediciones Mundi- Prensa. Cap. 6: 308 – 344.

- TESTA, G; GRESTA, F; COSENTINO, S.L. 2011. Dry matter and qualitative characteristics of alfalfa as affected by harvest times and soil water content. *European Journal of Agronomy* 34: 144 – 152.
- THIERFELDER, C; AMÉZQUITA, C, E; STAHR, K. 2005. Effects of intensifying organic manuring and tillage practices on penetration resistance and infiltration rate. *Soil & Tillage Research* 82: 211 – 226.
- TISDALE, S. L; NELSON, W. L. 1970. Relaciones básicas entre el suelo y la planta. En: *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. Montaner y Simon S.A. Barcelona, España. 2ª edición. Capítulo 4. p. 121 – 137.
- THOMPSON, R. B, GALLARDO, M, VALDEZ, L. C, FERNÁNDEZ, M. D. 2007. Determination of lower limits for irrigation Management using in situ assessments of apparent crop water uptake made with volumetric soil water content sensors. *Agricultural Water Management* 92: 13 – 28.
- TSAI, C. C; CHEN Z. S; KAO, C. I. OTTNER, F; KAO, S. J; ZEHETNER, F. 2010. Pedogenetic development of volcanic ash soils along a climosequence in Northern Taiwan. *Geoderma* 156: 48 – 59.
- UCAN, K; KILLI, F. 2010. Effects of different irrigation programs on flower and capsule numbers and shedding percentage of sesame. *Agricultural Water Management* 98: 227 – 233.
- VAN SOEST, P.J. 1982. *Nutritional ecology of the ruminant*. Comstock, Cornell Univ. Press, Ithaca, Nueva York.
- VAN SOEST, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2a edición. Cornell University Press. Library of Congress Cataloging in Publication Data. ISBN: 0-8014-2772-X.
- VAN SOEST, P. J. ROBERTSON, J. B. LEWIS, B.A. 1991. Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. In: *Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism and nutritional implications in dairy cattle*. *Journal of Dairy Science* 74: 3583 – 3597.
- VERNET, E. 1995. Fertilización. En: *Manual de Consulta Agropecuario*. 1ª Edición. Talleres gráficos de GRÁFICA y DISEÑO S. A. p 91 - 98.
- www.climagro.com.ar, usuario:intaesquel, password:esquel. (fecha de consulta: 03 de marzo de 2012)
- www.tutiempo.net/clima/OSORNO/857820.html, (fecha de consulta: 23 de abril de 2014).
- XUE, Q; ZHU, Z; MUSICK, J. T; STEWART, B. A; DUSECK, D. A. 2006. Physiological mechanisms contributing to the increased water use efficiency

in winter wheat under deficit irrigation. *Journal of Plant Physiology*. 163: 154 – 164.

- ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T; KONZAK, C. F. 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. *Weed Research* 14: 415 – 421.
- ZEHETNER, F; MILLER, W. 2006. Erodibility and runoff – infiltration characteristics of volcanic ash soils along an altitudinal climosequence in the Ecuadorian Andes. *Catena* 65: 201 – 213.
- ZHANG, B; Li, F. M; HUANG, G; CHENG, Z. Y; ZHANG, Y. 2006. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area. *Agricultural Water Management* 79: 28 – 42.
- ZHANG, Y; ZHANG Y; WANG, Z; WANG, Z. 2011. Characteristics of canopy structure and contributions of non – leaf organs to yield in winter wheat under different irrigated conditions. *Field Crops Research* 123: 187 – 195.
- ZWART, S. J; BASTIAANSEN, W. G. M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management* 69: 115 – 133.